

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

**«РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО
ВИМІРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ З МЕХАНІЧНОЮ РОЗГОРТКОЮ»**

Виконала: студентка 4 курсу,
групи БМІ-186,
спеціальності 163 Біомедична інженерія
_____ Кохан І. С.

Керівник: к. т. н., доц., доцент каф. БМІОЕС
_____ Штофель Д. Х.
« ____ » _____ 2022 р.

Рецензент: _____

« ____ » _____ 2022 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри БМІОЕС
Коваль Л. Г.
« ____ » _____ 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Бакалавр
Спеціальність 163 Біомедична інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри БМІОЕС
к. т. н., доцент Коваль Л. Г.

« ___ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу
студентці Кохан Ірині Сергіївні, гр. БМІ-186

1. Тема БДР «Розробка мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою», керівник роботи Штофель Д. Х., канд. техн. наук, доцент, затверджені наказом ВНТУ від 24 березня 2022 року № 66.
2. Строк подання студентом роботи – до 10.06.2022 р.
3. Вихідні дані для роботи: діапазон частот – 10 Гц – 12 кГц, чутливість – 25 мВ, схема електрична принципова, наявність мікроконтролерного блоку, Середній час напрацювання приладу на відмову: не менше 25000 годин, друкована плата –110x150 мм.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1. Аналітичний огляд питання; 2. Аналіз схеми електричної принципової;
3. Конструкторсько-технологічний розділ; 4. Розробка програмного забезпечення; 5. Охорона праці
5. Зміст графічної частини (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):
структурна схема, схема електрична принципова, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованої плати.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Штофель Д. Х. к. т. н., доцент. кафедри БМІОЕС		
Охорона праці	Дембіцька С. В., к. п. н., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання 25 березня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів БДР	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	До 08.03.2022	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	До 30.04.2022	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	До 15.05.2022	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 25.05.2022	
5	Попередній захист БДР	10.06.2022	
6	Нормоконтроль БДР	10.06.2022	
7	Рецензування БДР	21.06.2022	
8	Захист БДР	22.06.2022	

Студент

(підпис)

Кохан І. С.

Керівник роботи

(підпис)

Штофель Д. Х.

АНОТАЦІЯ

В бакалаврській дипломній роботі розроблено конструкцію мікроконтролерного тепловізора з механічною розгорткою, проведено розробку програмного забезпечення схеми, а також спроектовано друковану плату пристрою. Для автоматизації процесу проектування використано пакет прикладних програм САПР DIPTRACE.

АННОТАЦИЯ

В бакалаврской дипломной работе разработана конструкция микроконтроллерного тепловизора с механической разверткой, проведена разработка программного обеспечения схемы, а также спроектирован печатную плату устройства. Для автоматизации процесса проектирования использован пакет прикладных программ САПР DIPTRACE.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПИТАННЯ	8
1.1 Активні та пасивні системи теплобачення	8
1.2 Огляд існуючих аналогів	13
2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВІЗОРА	11
2.1 Опис роботи пристрою	11
2.2 Аналіз елементної бази	15
3 КОНСТРУКТОРСЬКО ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
3.1 Загальні відомості та завдання компоновання	17
3.2 Визначення габаритних розмірів пристрою	18
3.3 Визначення маси пристрою	19
3.4 Розрахунок надійності пристрою	21
3.5 Розрахунок часу напрацювання на відмову	25
3.6 Техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального варіанту розв'язання основної задачі роботи	28
3.7 Розробка конструкції друкованої плати	29
3.8 Вибір класу точності друкованої плати	29
3.9 Вибір матеріалу друкованої плати	30
3.10 Розрахунок діаметрів контактних площадок	31
3.11 Розрахунок ширини провідників	32
3.12 Трасування друкованої плати	32
3.13 Розрахунок плати на вібростійкість	34
3.14 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати	36
3.15 Тепловий розрахунок пристрою	38
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	40
4.1 Вибір засобів розробки програмного забезпечення	40
4.2 Розподіл ресурсів МПС	41
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	42
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	42
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	45
5.2.1 Мікроклімат	45

5.2.2	Склад повітря робочої зони.....	45
5.2.3	Виробниче освітлення	47
5.2.4	Виробничий шум.....	48
5.2.5	Виробничі випромінювання.....	48
5.3	Пожежна безпека.....	49
5.3.1	Технічні рішення системи запобігання пожежі	50
5.3.2	Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	50
	ВИСНОВОК.....	52
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53
	ДОДАТКИ.....	56
	Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	57
	Додаток Б (обов'язковий) Графічна частина.....	60
	Додаток В (довідниковий) Лістинг програми	68

ВСТУП

Успіхи, досягнуті за останні десятиліття у застосуванні інфрачервоного діапазону спектра електромагнітного випромінювання, привели до виникнення різноманітної інформаційно-вимірювальної апаратури, серед якої помітне місце займають тепловізори – пристрої, призначення яких полягає у спостереженні предметів у їх власному інфрачервоному тепловому випромінюванні. Попередники тепловізорів дозволяли лише виявляти тепловипромінюючі об'єкти і визначати напрямок, в якому вони знаходяться. З розвитком теплопеленгаторів виникла можливість застосування їх не лише для зазначених цілей, а й для формування зображення шляхом візуалізації розподілу температур об'єктів, що випромінюють тепло, а також їх розпізнавання. Так відбувся логічний перехід до створення тепловізорів. Властивість тепловізорів віддалено оцінювати термальні поля в режимі реального часу і не вносячи жодних спотворень у теплове середовище, які є неминучими при застосуванні контактних давачів температури, спричинила широке використання тепловізорів у найрізноманітніших областях промисловості, виробництва, наукових дослідженнях, військовій сфері та в клінічній практиці.

Усі фізичні тіла, температура яких більше абсолютного нуля температур, випромінюють інфрачервоне випромінювання. Характер цього випромінювання буде залежати від агрегатного стану речовини. Для газів спектри випромінювання формуються, як правило, з відокремлених смуг і ліній, які вважаються характерними для певного газу. Лінійні спектри окремих атомів і смугові молекулярні спектри проявляються лише тоді, коли газ знаходиться у розрідженому стані. Коли ж зв'язок між частинками збільшується (наприклад, в результаті зміни температури або тиску), лінії і смуги розпливаються і стають менш чіткими.

Спектри рідин характеризуються великим впливом взаємодії між молекулами рідини. Ширина смуг збільшується, з'являються додаткові смуги, які були відсутні в газових спектрах. Для твердих тіл в результаті найсильнішої взаємодії між частинками речовини спектри випромінювання набувають суцільного характеру, оскільки лінії поглинання стають надзвичайно розмитими і зливаються широкі ділянки суцільного спектра.

Електромагнітний спектр інфрачервоного випромінювання є частиною оптичного діапазону на межі з терагерцовим випромінюванням і посідає у спектрі електромагнітних хвиль проміжок, якому відповідають довжини хвиль від 760 нм до 1000 мкм. До оптичного діапазону можуть також відносити рентгенівське випромінювання ($\lambda = 0,01 \dots 5$ нм), ультрафіолетове ($\lambda = 5$ нм ... 0,37 мкм) та видиме ($\lambda = 370 \dots 760$ нм). Видиме випромінювання

умовно розділяється на піддіапазони довжин хвиль: червоного кольору - 760 ... 620 нм; помаранчевого кольору - 620 ... 590 нм; жовтого кольору 590 ... 560 нм; зеленого кольору - 560 500 нм; блакитного кольору - 500 ... 480 нм; синього кольору - 480 ... 450 нм і фіолетового кольору - 450 ... 400 нм.

Інфрачервоне випромінювання охоплює досить широку спектральну область, межуючи з боку коротших довжин хвиль з видимим випромінюванням, а з боку довших хвиль – з високочастотним радіодіапазоном. Інфрачервону смугу спектру зазвичай поділяють на чотири піддіапазони: ближній ($\lambda = 0.76 \dots 3$ мкм), середній ($\lambda = 3 \dots 6$ мкм), дальній ($\lambda = 6 \dots 15$ мкм) і дуже далекий ($\lambda = 15 \dots 1000$ мкм).

Інфрачервоне електромагнітне випромінювання, рівно як і видиме світло, розповсюджується в однорідному середовищі вздовж прямої, зберігає підпорядкування закону зворотних квадратів, має властивість відбивання, заломлювання, зазнає дифракції, інтерференції та поляризації. Інфрачервоні промені поширюються зі швидкістю світла.

Усі види теплових джерел класифікують на три види випромінювачів: тіла абсолютно чорні, тіла сірі й селективні випромінювачі. Необхідно зазначити, що поняття абсолютно чорного тіла - це ідеалізація. На практиці вважають, що за певної температури таке тіло випромінює і поглинає максимум енергії, який теоретично можливий.

Переважає більшість кристалічних тіл, зокрема діелектрики, оксиди металів, напівпровідники при температурах, наближених до 300 К, розподіл енергії випромінювання по спектру має характер випромінювання абсолютно чорного тіла. Такі об'єкти називають «сірими». Відношення їх енергетичної світності до енергетичної світності абсолютно чорного тіла, яке нагріте до тієї ж температури, не залежить від довжини хвилі і називається коефіцієнтом теплового випромінювання.

Взагалі, сірих тіл, як і чорних, також не існує в природі, однак в деяких спектральних діапазонах велика кількість тіл з точністю, достатньою для практичного застосування, можуть вважатися сірими. Використання поняття «сірого тіла» дозволяє застосовувати закони теплообміну, зокрема шляхом випромінювання, виведені теоретично для абсолютно чорного тіла. Таке саме припущення застосовують і при аналізі випромінювання селективних випромінювачів. Коефіцієнтом теплового випромінювання селективного випромінювача називають умовну величину, яка залежить від низки параметрів і характеристик джерела випромінювання.

Інфрачервоний діапазон, крім видимого, також межує з терагерцовим діапазоном (ТГц) електромагнітного випромінювання, яке характеризується

тим, що спектр його частот розміщений між інфрачервоним та надвисокочастотним радіодіпазоном. Межі цих видів випромінювання у літературі визначаються по-різному. Найбільший допустимий діапазон ТГц частот 1011-1013 Гц, діапазон довжин хвиль 3-0,03 мм відповідно. Такі хвилі ще називаються субміліметровими, якщо довжина хвилі потрапляє в діапазон 1-0,1 мм.

Терагерцове випромінювання не виявляє іонізуючих властивостей, легко пронизує більшість діелектриків, проте відчутно поглинається провідниками та окремими діелектриками. До прикладу, дерево, пластмаса, кераміка прозорі для таких хвиль, а от металічні матеріали та вода – ні.

Застосування терагерцових (субміліметрових) хвиль у техніці почало активно розвиватися з 60 - 70 -х років 20- го століття, коли стали доступні перші джерела і приймачі такого випромінювання. Зараз це бурхливо розвивається напрямок, що має великі перспективи в різних галузях народного господарства.

На сьогоднішній день широко використовуються частоти в районі гігагерца - це частоти стільникового зв'язку, це частоти, на яких працюють процесори в комп'ютерах.

Терагерцова випромінювання має і ще одним досить корисним властивістю: подібно рентгенівському, воно дозволяє заглянути всередину матерії, просвітити її. Це може означати нові методи дефектоскопії та контролю якості на виробництві. Нітрохи не менш райдужні перспективи відкриваються і перед біологами і медиками. Справа в тому, що терагерцова випромінювання, на відміну від рентгенівського, не завдає шкоди живим тканинам, оскільки для отримання знімка досить дуже слабкого і дуже короткого імпульсу. Але, незважаючи на низьку інтенсивність і малу тривалість опромінення, контрастність зображення при цьому виявляється значно вище, ніж при традиційному рентгенологічному або ультразвуковому обстеженні. Так само терагерцова випромінювання дозволяє дуже точно вловлювати наявність води і визначати її зміст в тканинах.

Метою роботи є розроблення конструкції мікроконтролерного тепловізора з механічною розгорткою.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПИТАННЯ

1.1 Активні і пасивні системи тепlobачення

Існує кілька різних підходів до побудови терагерцевої системи тепlobачення. Всі системи, що розробляються в даний час, діляться на активні і пасивні. У першому випадку об'єкт спостереження опромінюється Терагерцевим випромінюванням, а реєструюча апаратура приймає відбите від об'єкта випромінювання. У разі пасивної системи тепло реєструється власне тепловим випромінюванням об'єкта спостереження.

Основним плюсом першого методу є низькі вимоги по чутливості до приймача випромінювання, однак використання активних методів у ряді випадків небажано, наприклад при використанні в медицині і службах безпеки. Для пасивних систем тепlobачення видиме зображення виходить завдяки власному тепловому випромінюванню тіл. У цьому випадку пасивні системи радіобачення можуть називатися тепловізорами.

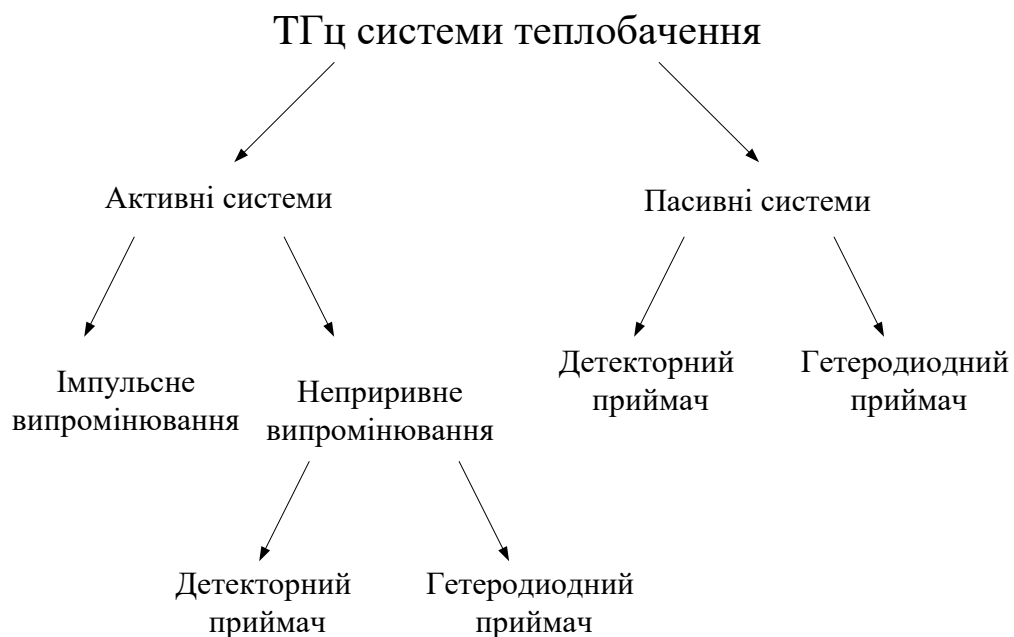


Рисунок 1.1 - Існуючі підходи побудови систем тепlobачення

Одним з основних вузлів активної системи тепlobачення є джерело випромінювання, за допомогою якого об'єкт спостереження піддається опроміненню. При цьому сигнал приймача залежить від коефіцієнтів пропускання, відбиття, а також величини поглинання і розсіяння в спостережуваному об'єкті. Прийнято використовувати два різних підходи до отримання зображень активними методами.

У першому випадку приймач приймає мінус кризь об'єкт випромінювання, при такому підході контраст зображення визначається коефіцієнтом пропускання різних частин об'єкта. В іншому випадку приймається відбите від об'єкта випромінювання і зображення визначається розподілом коефіцієнта відбиття спостережуваного об'єкта.

Основний плюс роботи з активними системами теплобачення полягає в низьких вимогах до чутливості приймача. Завдяки цьому є можливість використовувати приймачі, що працюють при кімнатних температурах, такі як діоди з бар'єром Шотткі або ММІС - структури (Monolithic Microwave Integrated Circuit). Маючи джерело із змінною частотою випромінювання, також можна проводити спектральні дослідження об'єктів спостереження, а отже, отримувати додаткову інформацію про об'єкт спостереження.

Основними ж мінусами подібних систем є високі вимоги до оптичної схемою такого приймача, що дозволяє запобігти появі відблисків, пов'язаних з перевідбиваннями від об'єкта, стін приміщення і предметів, що оточують об'єкт. У ряді випадків, використання активних систем вкрай небажано (перш за все мова йде про випадки, коли об'єктом спостереження є людина).

Імпульсна активна система терагерцового теплобачення.

Імпульсні активні системи терагерцового теплобачення до теперішнього часу вже отримали достатньо великий розвиток. Варто також згадати, що до теперішнього часу існують вже комерційні моделі терагерцових імпульсних систем, що дозволяють отримувати спектральні характеристики досліджуваних зразків, наприклад системи TPS spektra 1000, TRITM imaga 2000 компанії Teraview [5]

Як джерело випромінювання в таких системах служить імпульсне терагерцове джерело. Одним із способів отримання терагерцевого імпульсу є опромінення фемтосекундним імпульсом GaAs структури з виконаною на ній металевої антеною [6]. Короткий Фемтосекундний імпульс має надзвичайно широким спектром, що перебиває терагерцовий діапазон частот. При цьому спектр сигналу, визначається тільки характеристиками антени. Змінюючи топологію антени, можна формувати спектр імпульсу. Приймається такою терагерцовий імпульс може точно такою ж структурою (GaAs з виконаною на ньому терагерцова металевої антеною). Однак, при всій простоті отримання терагерцевого імпульсу залишається вкрай складним отримання вузьких ліній випромінювання такої структури. Для отримання спектральних залежностей віддзеркалення і пропускання необхідно використовувати інтерферометричні методи, істотно ускладнюють конструкцію приладу. В даний час розробляються різні підходи отримання терагерцових зображень за

допомогою таких систем, що працюють як з прошедшим крізь об'єкт випромінюванням, так і з відбитим від нього випромінюванням.

На рисунку 1.2 представлена типова схема використовується в імпульсних активних системах побудови терагерцових зображень. [7]

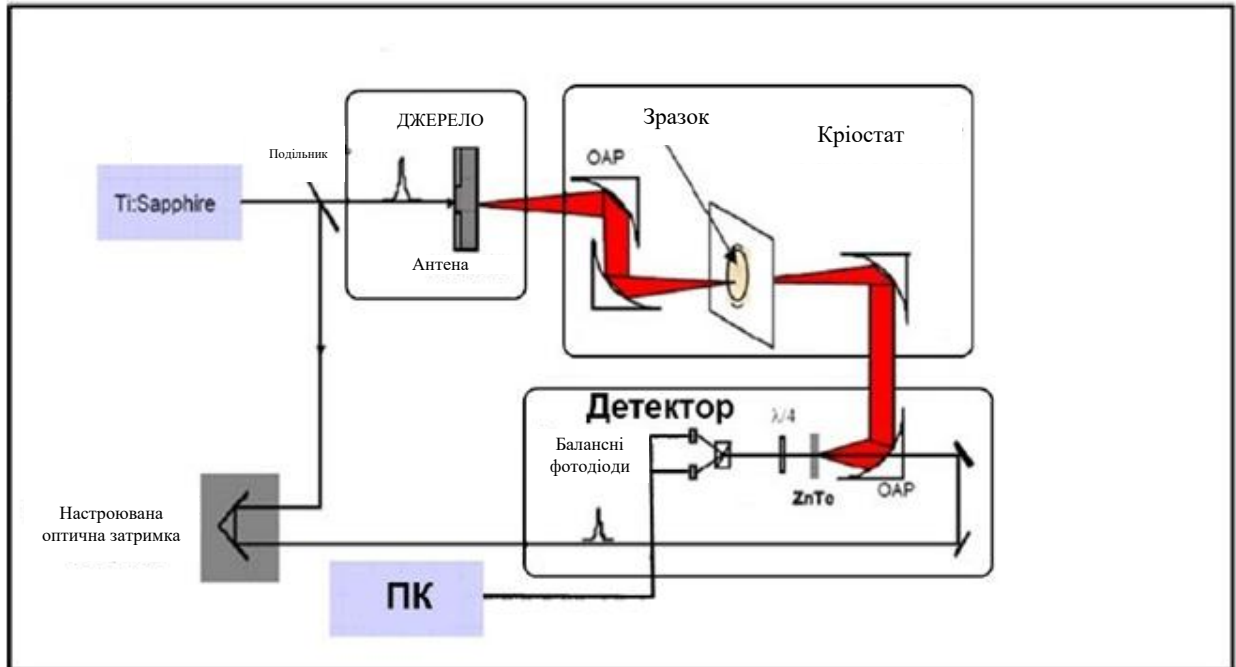


Рисунок 1.2 - Блок-схема ативної імпульсної системи теплобачення

2 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОВІЗОРА

2.1 Опис роботи пристрою

Активна система терагерцевого теплобачення використовує приймач прямого детектування .

Представлені на рисунку 1.1 типи активних систем терагерцевого радіовідення розділені по типу використовуваного джерела випромінювання. Істотною відмінністю описуваних у цьому параграфі терагерцевих систем радіовідення від розглянутих раніше імпульсних активних систем є використання джерел безперервного випромінювання терагерцевого хвиль.

Як приклад такої системи на рис. 2.1 приведена блок- схема активної системи терагерцевого радіобачення В якості прямого детектора в цій роботі був використаний піродетектор, що не володіє рекордними чутливістю і шумовими характеристиками серед детекторів терагерцевого діапазону частот. В якості перебудовується джерела випромінювання служив параметричний генератор терагерцевих хвиль.

У роботі проведено якісне порівняння систем побудови зображень, що використовують імпульсні джерела, з системами використовують безперервне джерело випромінювання. Останні є більш вигідними системами як за своєю вартістю, швидкості роботи, так і за своїми характеристиками (контрастності одержуваних зображень).

Програють же вони тільки по інформативності: даний метод несе інформацію лише про коефіцієнті відбиття або поглинання в речовині, при цьому неможливо будувати зрізи спостережуваного об'єкта.

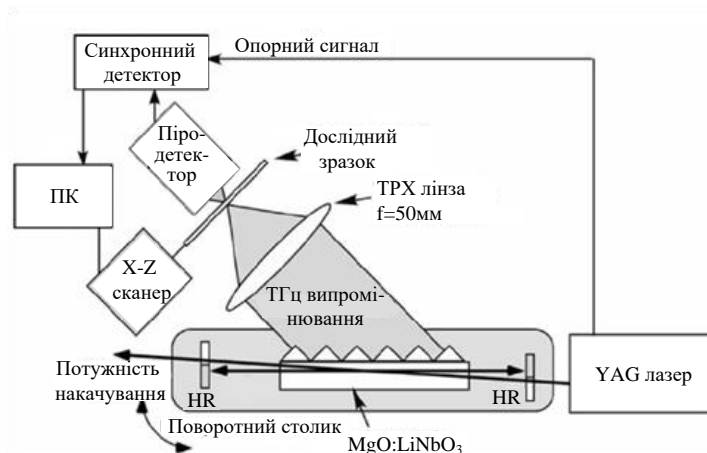


Рис. 2.1 - Блок-схема терагерцевого спектрометра, використовуваного при побудові терагерцевих зображень будувати зрізи спостережуваного об'єкта

Активна система терагерцевого тепlobачення використовує супергетеродинний приймач.

У випадках, коли активна система побудови тепlobображень використовується в умовах великого розсіювання або поглинання сигналу (наприклад, при роботі у відкритому просторі на великих відстанях або при виявленні об'єктів захованих за перешкодами з великим поглинанням), необхідно використовувати високочутливі приймачі. Як приклад такої системи на рисунку 2.2 представлена блок-схема активної системи терагерцевого радіовідення з супергетеродинного приймача в якості приймального елемента. При проектуванні оптичної системи, призначеної для роботи.

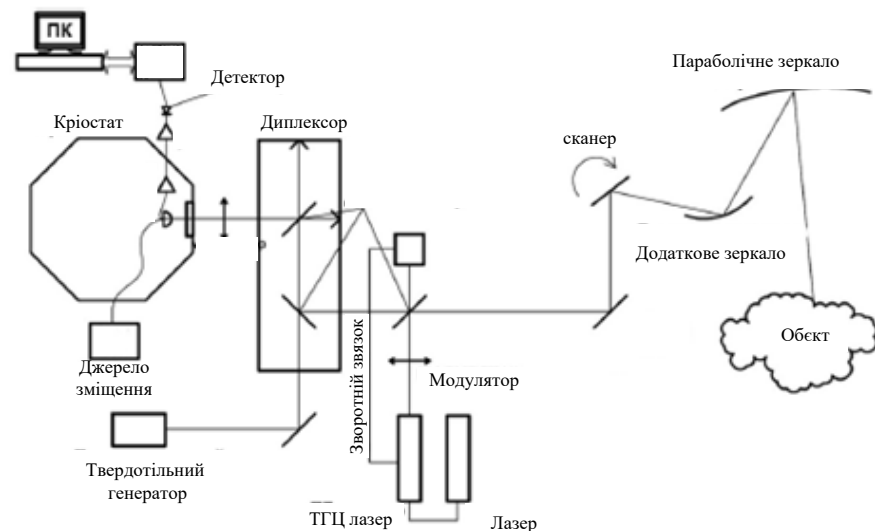


Рис. 2.2 - Активна система терагерцевого тепlobачення, що використовує супергетеродина

Зліва представлена блок-схема системи отримання тепlobображень, праворуч наведено терагерцеве зображення, поєднане з відеозображенням людини. Об'єкт спостереження опромінюється за допомогою терагерцевого лазера, забезпеченого зворотним зв'язком для стабілізації потужності. В якості прийомного елемента використовується змішувач на ефекті електронного розігріву (НЕВ-змішувач). В якості гетеродина використовується твердотільний джерело з помножувачем частоти. Вихідна потужність гетеродина досить мала і для узгодження її зі змішувачем доводиться імпользовать поляризаційний інтерферометр Мартін-Паплет. Оптична схема приймача складна і громіздка. При цьому якість одержуваного зображення низька: яскрава пляма в центрі зображення

відповідає захованого під одягом металевому предмету, при цьому розпізнати форму предмета неможливо. [10]

У відкритому приміщенні неминуче доводиться враховувати внесок перевідбиттів потужності як від самого об'єкта спостереження, так і від стін та інших об'єктів, що знаходяться в приміщенні. Вплив таких перевідбиттів призводить до серйозного спотворення одержуваних терагерцових зображень, уникнути які можна лише в спеціальних лабораторних умовах. Тому при використанні активних систем в системах побудови зображень призводить до істотним спотворень зображень, аж до неможливості визначити форму об'єкта (див. рис. 2.2) .

Принцип роботи систем пасивного тепловачення заснований на реєстрації потужності власного теплового радіовипромінювання об'єктів. Теплове випромінювання носить шумовий характер і в області радіохвиль має досить низьку інтенсивність. Спектральна щільність потоку випромінювання абсолютно чорного тіла задається формулою Планка, [11]

В області радіохвиль, де формула Планка переходить в закон Релея - Джинса ,

$$S_f = \frac{2\pi f^2}{c^2} k_B T \quad (2.1)$$

Таким чином, інтенсивність мікрохвильового випромінювання прямо пропорційна фізичній температурі абсолютно чорного тіла (АЧТ), що веде до помітного спрощення методів радіометрії та інтерпретації даних. Для досліджуваних об'єктів вводять поняття радіояркостной температури, яка дорівнює фізичній температурі такого АЧТ, що має ті ж форму та розміри, яке створювало б випромінювання такої ж інтенсивності в розглянутому частотному діапазоні, як і досліджуваний об'єкт [12]. Коефіцієнт пропорційності між термодинамічної T і радіояркостной температурою T_s рівний коефіцієнту сірості тіла:

$$T_s = \varepsilon T \quad (2.2)$$

У загальному випадку контраст одержуваного зображення утворюється через різних фізичних властивостей і температур спостережуваних предметів. Випромінювання кожного об'єкта складається з трьох частин:

відбитого, минулого і власного теплового випромінювання. Якщо для простоти знехтувати поглинанням сигналу в атмосфері і в об'єкті, то вираз для радіояркостної температури, що фіксується датчиком, запишеться наступним чином:

$$T_s = rT_1 + tT_2 + \varepsilon T_3 \quad (2.3)$$

де r - коефіцієнт відбиття, t - коефіцієнт пропускання, ε - коефіцієнт сірості. В силу закону збереження енергії ці коефіцієнти пов'язані співвідношенням

- Спостережувана температура ;
- Радіярка температура стороннього випромінювання, що падає на об'єкт і відбивається від нього ;
- Температура стороннього випромінювання, що падає на об'єкт і проходить через нього ;
- Температура самого об'єкта. Якщо об'єкт складається з добре поглинаючого матеріалу, тобто його коефіцієнт поглинання (і випромінювання), то його спостережувана радіояркостная температур близька до фізичної (термодинамічної) температури.

Якщо ж об'єкт добре відбиває (наприклад, метал), то його видима радіояркостная температура буде відповідати радіояркостной температурі оточуючих об'єкт предметів, наприклад неба.

Оскільки в пасивних системах побудови зображень йдеться про сигнал, пов'язаному з радіояркостной температурою спостережуваних об'єктів, ми маємо право висловлювати вихідний сигнал в одиницях температури, а подібний прилад за аналогією з інфрачервоними системами прийому теплового випромінювання можна називати терагерцова тепловізором (для приладів радіодіапазоні більш вживане назва - радіометр).

Існують декілька відрізняються один від одного підходів до побудови пасивних систем терагерцевого радіовідення. Для цього можуть бути використані як приймачі прямого детектування, так і більш складні супергетеродинні приймачі. Приймач прямого детектування має перевагою простоти, а отже і дешевизни.

Іншим важливим його перевагою є те, що його чутливість може бути безмежно покращена за рахунок розширення вхідний смуги (це справедливо тільки теоретично, оскільки зробити дійсно широку вхідну смугу приймача вкрай складно). Шуми супергетеродинного приймача обмежені квантовими шумами (на практиці для всіх існуючих змішувачів шуми в кілька разів перевищують квантовий межа шуму), і це є одним з основних обмежень чутливості супергетеродинного приймача. Основним же достоїнством

супергетеродинного приймача є можливість отримання спектральних характеристик спостережуваних об'єктів. Ця властивість супергетеродинного приймача робить його більш вигідним в біомедичних застосуваннях і системах безпеки. У наступних параграфах будуть описані особливості застосування пасивних систем і порівняння гранично досяжних чутливостей приймачів прямого детектування і супергетеродинних приймачів при використанні їх у системах побудови радіозображень.



Рис. 2.3 - Блок - схема приймача прямого посилення. На схемі блоками показані підсилювач високих частот (УВЧ) , квадратичний детектор (КД) і фільтр низьких частот (ФНЧ) .

2.2 Аналіз елементної бази

До складу пристрою входять традиційно-монтажні компоненти (ТМК) і поверхнево-монтажні компоненти (ПМК). Використання мікросхем в корпусах зі штировою технологією, вмонтовуваними в металізованих отворах призводить до втрати щільності розміщення компонентів, збільшення витрат на контроль і випробування готової продукції, а також проблематичність автоматизації складально-монтажних робіт. Демонтаж мікросхем з плат вимагає застосування спеціальних пристроїв і пов'язаний з ризиком пошкодження, як самих мікросхем, так і друкованої плати (ДП). Вартість ДП із збільшенням числа металізованих, зокрема, монтажних отворів зростає, а міцність - зменшується. Тому в схемі переважно використовуються ПМК. Компоненти розміщуються з обох сторін плати. В результаті вартість ДП зменшується, а щільність розміщення комутуючих елементів і навісних компонентів збільшується.

Розробка корпусів для навісних компонентів в даний час наблизилася до такої стадії, коли її роль стає настільки ж важливою, як і розробка самих компонентів. Зараз існує великий вибір корпусів компонентів, в яких встановлюють активні дискретні та пасивні компоненти, мікросхеми, в тому числі БІС, НВІС і мікроскладання. Ці мікрокорпуса мають специфічну конфігурацію і розміри . Розглянемо докладніше елементну базу пристрою.

Так як в загальній кількості навісних компонентів пасивні дискретні

компоненти, становлять більшість, то для зниження масогабаритних показників і підвищення експлуатаційної надійності блоку мініатюризація конструкцій пасивних компонентів не менш важлива, ніж мікросхем.

З цієї причини були обрані резистори і конденсатори чіп-конструкції (SMD), що є наймініатюрнішою і найбільш поширеною конструкторською реалізацією пасивних компонентів.

Під компонуванням ІС слід розуміти їх взаємну орієнтацію в робочій зоні друкованої плати. Як вже зазначалося, компонування ІС може здійснюватися як з одного боку друкованої плати, так і з двох. Важливу роль при компонуванні ІС на друкованій платі грає спосіб установки (при виборі способу установки на друковану плату осередку був використаний ОСТ92-9389-80), який повинен забезпечувати: надійне механічне кріплення і електричне з'єднання виводів з контактними площадками друкованої плати ; можливість автоматизації і механізації збірки ; можливість забезпечення демонтажу ІС в процесі виготовлення та налаштування друкованої плати.

Залежно від конструктивного виконання корпусу ІС вони можуть встановлюватися на друковану плату комірки з формуванням виводів за ОСТ92-9388-80. Формування виводів проводиться для збільшення відстані між выводами, фіксації відстані від корпусу до друкованої плати, суміщення виводів з вузлами координатної сітки друкованої плати і забезпечення щільного прилягання плоского виведення до контактних площадок при його електричному з'єднанні. Тому необхідність введення додаткових кріплень може вплинути на установчу висоту елементів і відповідно на вибір варіанта їх компонування. Таким же чином збільшення установчих розмірів компонентів і в кінцевому варіанті збільшення висоти пристрою може відбуватися при введенні конструкцію тепловідвідних шин.

Мікросхеми в однотипних конструкціях на друкованих платах, як правило, розташовуються рядами. За наявності декількох типів корпусів їх бажано компонувати групами, що включають в себе тільки один тип корпусу. Це дозволяє застосовувати механізовані й автоматизовані методи складання друкованих плат.

Установка і кріплення ІС повинні забезпечувати вільний доступ до будь-якої з них і можливість заміни. Крок установки кратний основному кроку координатної сітки друкованої плати.

3 КОНСТРУКТОРСЬКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Загальні відомості та завдання компоування

Загальні принципи компоування визначають типові конструктивні елементи, які закладаються в основу процесу збірки РЕА. Вибір принципу компоування в основному залежить від вимог, які висуваються до конструкції РЕА і тих обмежень, які на неї накладаються.

Процес компоування – це процес вибору форми, основних геометричних розмірів, конструкції, визначення її орієнтовної маси та розміщення в просторі її елементів, вузлів, елементів опори тощо. Даний процес виконується для забезпечення максимально корисного ефекту від роботи приладу. Результатом процесу компоування є компоувальний ескіз.

При аналітичному методі компоування оперують числовими значеннями основних компоувальних характеристик, такими як розміри елементів, їх маса, площа, об'єм і т.д.

Метод модельного компоування найбільш розповсюджений через свою простоту та наглядність. При цьому використовують 2d або 3d моделі, виконані у вигляді спрощених креслеників.

Суть методу графічного компоування заключається в побудові спрощеного графічного кресленика елементів РЕА, а також різних варіантів компоування. Для цього використовують типові трафарети, штампи тощо.

При натурному компоуванні замість моделі використовують реальні радіоелементи: резистори, конденсатори, мікросхеми тощо.

Процес компоування блоків РЕА розглядається в трьох аспектах:

- із дотриманням вимог зручності процесу складання, контролю, обслуговування, ремонту, механічного та електричного з'єднання, при цьому враховуються також ергономічні вимоги.

- функціональне компоування – розміщення та встановлення радіоелементів на друкованій платі з врахуванням функціональних та енергетичних вимог до конструкції, а також щільності компоування і встановлення радіоелементів, загальної щільності топології друкованих провідників [16].

Попереднє компоування перших двох аспектів полягає у визначенні форми та габаритних розмірів.

Функціональне компоування приладу проводиться з метою визначення основних габаритних розмірів друкованої плати, вибору способу її проектування та виготовлення. Для проведення процесу функціонального компоування достатньо переліку елементів приладу. У випадку насиченого,

складного компоновання, крім власне переліку елементів необхідна також принципова електрична схема приладу, та, крім того, доцільно мати додаткові вказівки про особливості даної схеми.

Під час розроблення конструкції приладу необхідно провести процес компоновання на двох рівнях:

1 – компоновання друкованої плати з необхідною прив'язкою груп радіоелементів за їх функціональними групами, теплової сумісності із мінімізацією довжин з'єднувальних друкованих провідників;

2 – зовнішнє компоновання приладу, із урахуванням всіх висунутих в ТЗ вимог. До них відносять технологічність та ремонтпридатність. Тобто, слід здійснити внутрішнє та зовнішнє компоновання приладу з урахуванням вимог ТЗ.

3.2 Визначення габаритних розмірів пристрою

Спочатку визначимо орієнтовні габаритні розміри плати за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст}} \cdot q, \quad (3.1)$$

де $\sum S_{\text{уст}}$ – сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі,

q – коефіцієнт запасу, $q = 2 \dots 4$.

Знаходимо $\sum S_{\text{уст}}$, додавши дані з таблиці 1 (зауважимо, що 21 резистор разом з індикаторами розміщені а другій платі):

$$\sum S_{\text{уст}} = 5331 - 420 = 4911 \text{ мм}^2 \approx 49,2 \text{ см}^2$$

маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 4911 \times (2 \dots 4) = (9822 \dots 19644) \text{ мм}^2.$$

Реальні розміри плати 150×100 мм (оскільки застосовано двосторонній монтаж), при цьому площа плати:

$$S_{\text{плати}} = 110 \cdot 150 = 15000 \text{ мм}^2 = 165 \text{ см}^2.$$

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіокомпонентів. В даному випадку у пристрої таким є конденсатори КМ-5б:

$$h_{\text{max}} = h_{\text{C1}} = 15 \text{ мм}.$$

Габаритні розміри приладу, скомпонованого за першим варіантом, визначаємо наступним чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, який займають плати з радіокомпонентами (плюс певний запас), а висота – враховуючи наявність плати з індикаторами.

Для першого і другого варіанту матимемо наступні результати.

Внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{мах}} + 15 \text{ мм} = 14 + 15 = 29 \text{ мм}$;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 150 + 8 = 158 \text{ мм}$;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 110 + 8 = 118 \text{ мм}$;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 29 + 2 \times 1 = 31 \text{ мм}$;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 150 + 2 = 152 \text{ мм}$;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 110 + 2 = 112 \text{ мм}$.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 4,6 \cdot 13,5 \cdot 7 = 434,7 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{I}} = V_{\text{прист}}^{\text{II}} = V_{\text{корп}} = 434,7 (\text{см}^3).$$

Для третього варіанту:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{мах}} + 15 \text{ мм} = 14 + 15 = 29 \text{ мм}$;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 150 + 18 = 168 \text{ мм}$;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 110 + 8 = 118 \text{ мм}$;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 15 + 2 \times 1 = 17 \text{ мм}$;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 168 + 2 = 170 \text{ мм}$;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 110 + 2 = 112 \text{ мм}$.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп}} = V_{\text{зовн}} = 5,6 \cdot 14,5 \cdot 7 = 568,4 (\text{см}^3).$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{III}} = V_{\text{корп}} = 568,4 (\text{см}^3).$$

3.3 Визначення маси пристрою

Знаходимо об'єм плати:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} \times h_{\text{плати}} = 150 \times 0,15 = 12,18 (\text{см}^3).$$

Знаходимо масу плати:

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \times \rho_{\text{текст}} = 12,18 \times 1,4 = 17 (\text{г}),$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 2.1. Маса елементів, що розміщені на платі:

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 34 - 3 = 31 \text{ (г)},$$

а маса елементів поза платою:

$$m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} = 3 + 10 = 13 \text{ (г)},$$

і сумарна маса елементів:

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{кор.}} = 31 + 13 = 44 \text{ (г)}.$$

Маса елементів для другого і третього варіантів буде аналогічною, оскільки в ньому використовуються ті ж радіоелементи.

Маса пристрою складається із маси корпусу, плати і елементів.

Для першого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{MAT}} = (434,7 - 4,4 \cdot 13,3 \cdot 6,8) \cdot 2,7 = 99,3 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{I}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 99,3 + 17 + 44 = 160,3 \text{ (г)}.$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{MAT}} = (434,7 - 4,4 \cdot 13,3 \cdot 6,8) \cdot 1,35 = 49,6 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{II}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 49,6 + 17 + 44 = 110,6 \text{ (г)}.$$

Для третього варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \cdot \rho_{\text{MAT}} = (568,4 - 14,3 \cdot 5,4 \cdot 6,8) \cdot 1,35 = 58,5 \text{ (г)},$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{III}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 58,5 + 17 + 44 = 119,5 \text{ (г)}.$$

Дані заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики трьох варіантів конструкції

Параметр	Варіант I	Варіант II	Варіант III
Об'єм V , см^3	434,7	434,7	568,4
Маса m , г	160,3	110,6	119,5
Надійність λ , $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	7,02	7,02	7,02

3.4 Розрахунок надійності пристрою

Надійність являється одним із основних параметрів конструкторської, розрахунок якої дозволяє зробити висновки щодо вірності вибраної схеми побудови приладу та загалом про конструкцію всього виробу. Надійність всього приладу визначається надійністю та кількістю елементів, з яких він складається, кількістю зв'язків між ними, а також способами кріплення елементів конструкторської, видами їх з'єднань між собою, впливом зовнішніх факторів, електричних та теплових навантажень на елементи приладу тощо.

Визначення загальної надійності пристрою полягає у розрахунку показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності його складових елементів та умовами експлуатації. Вихідними показниками розрахунку слугують інтенсивності відмов радіоелементів за нормальних умов експлуатації.

Доцільно скористатися методикою розрахунку експлуатаційної надійності приладу згідно з [20] за допомогою анступних математичних моделей.

В загальному випадку математична модель надійності має вигляд:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (3.1)$$

де λ_e – експлуатаційна інтенсивність відмов, c^{-1} ;

λ_0 – інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, c^{-1} ;

k_i – складові коефіцієнти математичної моделі.

Для електронної апаратури сумарна інтенсивність відмов:

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{OBSL} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (3.2)$$

де K_{AM} – коефіцієнт, який залежить від амортизації електронної апаратури; за відсутності системи амортизації у виробі (як у нашому випадку) $K_{AM} = 1$;

K_{OBSL} – коефіцієнт, який залежить від якості технічного обслуговування електронної апаратури; для побутових виробів $K_{OBSL} = 1$;

λ_{ei} – експлуатаційна інтенсивність i -го типу електронної апаратури;

n – кількість типів електронних елементів у пристрої.

Оскільки пристрій – стаціонарний, використовується в лабораторних умовах, то коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$ [19,20], запишемо математичні моделі для кожного з елементів конструкторської і обчислимо значення інтенсивностей відмов.

Для керамічних конденсаторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CT} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (3.3)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 2.6 [20];

K_C – коефіцієнт, що залежить від ємності конденсатора, з таблиці 2.8 [20].

Оскільки на конденсаторі максимальна напруга падає тоді, коли вона рівна напрузі живлення, то відношення U/U_H :

$$\frac{U}{U_H} = \frac{2,5}{5} = 0,5,$$

тому $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,8$ (в середньому), то матимемо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0012 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем:

$$\lambda_E = \lambda_H \cdot K_e, \quad (3.4)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для індикаторів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.5)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,15 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для діодів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (3.6)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [20]; $K_P = 0,256$ (за коефіцієнта навантаження 0,7);

K_Φ – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму роботи, з таблиці 3.13 [20], $K_\Phi = 1,0$;

K_{S1} – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [20] $K_{S1} = 0,75$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 0,256 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1 = 0,02 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для резисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CT} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (3.7)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [20]; $K_P = 0,57$;

K_R – коефіцієнт, що залежить від опору резистора, з таблиці 3.7 [20], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором 1...100 кОм). Маємо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,004 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для роз'ємів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.8)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

Для кварцових резонаторів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.9)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,1 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}),$$

Для кнопок і перемикачів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (3.10)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,45 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,45 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для транзистора:

$$\lambda_E = \lambda_{0CT} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (3.11)$$

де K_p – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.9 [20]; $K_p = 0,36$ (за коефіцієнта навантаження 0,7);

K_Φ – коефіцієнт, що залежить від функціонального режиму роботи, з таблиці 3.13 [20], $K_\Phi = 1,5$;

$K_{дн}$ – коефіцієнт, що залежить від потужності транзистора, з таблиці 3.12 [20], $K_{дн} = 0,5$ (потужність становить менше 1 Вт);

K_{S1} – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [20] $K_{S1} = 1,0$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,078 \cdot 10^{-6} (c^{-1}).$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елемент	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0012	12	0,0072
Мікросхеми	0,1000	3	1,6000
Резистори	0,0040	22	0,1720
Роз'єми	0,0100	1	0,0100
Транзистори	0,0780	1	0,3120
Котушки	0,4500	1	0,4500
Пайка	0,0100	342	3,4200
Плата	0,5000	1	0,5000

Сумарна інтенсивність відмов для всіх варіантів:

$$\sum \lambda_{i2} = 0,0072 + 1,6 + 0,45 + 0,172 + 0,01 + 0,1 + 0,312 + 0,45 + 3,42 + 0,5 = 7,02 \cdot 10^{-6} (\text{год})$$

Надійність пристрою характеризується напрацюванням на відмову, що обчислюється за формулою (2.18):

$$T = \frac{1}{\lambda_\Sigma} (\text{год}). \quad (3.12)$$

Підставимо дані:

$$T_1 = T_2 = T_3 = \frac{1}{7,02 \cdot 10^{-6}} = 142450 (\text{год}).$$

Результати обчислень заносимо в таблицю 3.2.

Як бачимо, надійність пристрою у третьому варіанті компоновання нижча у порівнянні з першим і другим, що підтверджує його неспроможність задовольнити вимоги технічного завдання.

3.5 Розрахунок часу напрацювання на відмову

Надійність апаратури визначається надійністю і кількістю використовуваних у ній елементів і, як комплексна властивість, характеризується чотирма складовими: безвідмовністю, довговічністю, сохрняємостю і ремонтпридатності і комплексними показниками: коефіцієнтом готовності, коефіцієнтом технічного використання та іншими. У даному пункті розраховується надійність USB-пристрою, який є системою без резервування з відновленням. Граф стану цієї системи наведено на рис. 3.1.

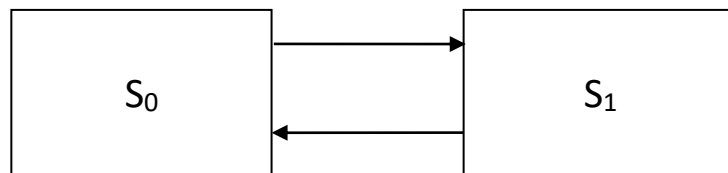


Рисунок 3.1 – Графік станів системи без резервування з відновленням

S0-пристрій працює і справно.

S1-пристрій не справне і знаходиться в ремонті.

Спочатку, до першої відмови, ведеться розрахунок з використанням звичайної методики, використовуваної при розрахунку систем без відновлення.

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t}, \quad (3.13)$$

де $P(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи системи;

λ_0 - інтенсивність відмов системи, 1 / год;

t - час, ч.

Далі ймовірність без відмовний роботи системи розраховується виходячи з системи рівнянь Колмогорова, складений для даного випадку:

$$\begin{cases} \frac{dp_0}{dt} = -\lambda_0 p_0 + \mu_0 p_1, \\ p_0 + p_1 = 1 \end{cases} \quad (3.14)$$

Рішення цієї системи рівнянь дає наступні вираз:

$$p_0(t) = \frac{\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0} + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + \mu_0} \cdot \exp[-(\lambda_0 + \mu_0)t], \quad (3.15)$$

де μ_0 – інтенсивність відновлення системи, 1/ч.

У сталому режимі вираз (3.15) має вид :

$$P_{0уст} = \frac{\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0} \quad (3.16)$$

Після аналітичного розрахунку ймовірності безвідмовної роботи буде побудований графік для більш наочного відображення інформації. При розрахунку Λ_0 використовується наступна методика:

$$\Lambda_0 = \sum_{i=1} \lambda_{ep.э} \quad (3.17)$$

де $\lambda_{гр.э}$ - інтенсивність відмов групи однотипних елементів, 1 / ч.

$$\lambda_{ep.э} = \lambda_j \alpha_j n_j, \quad (3.18)$$

де α_j - поправочний коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта навантаження і температури;

λ_j - інтенсивність відмов елементів з урахуванням вібрації, ударних навантажень, вологості, температури, висоти, 1 / ч.

n_j - кількість однотипних елементів.

$$\lambda_j = \lambda_{jn} \cdot K_{\lambda 1} \cdot K_{\lambda 2} \cdot K_{\lambda 3}, \quad (3.19)$$

де λ_j номінальне значення інтенсивності відмови елементів, 1 / год;

$K_{\lambda 1}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує вібрацію та ударні навантаження;

$K_{\lambda 2}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує вологість і температуру навколишнього середовища;

$K_{\lambda 3}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує висоту.

Розрахунок показників безвідмовності відновлюваної цифрової апаратури проводять згідно [12]. При розрахунках безвідмовності приймають такі припущення:

- 1) всі відмови елементів наводяться до відмови пристрою;
- 2) всі відмови елементів незалежні;

3) наслідки відмов усуваються шляхом заміни елемента, що відмовив на еквівалентний;

4) вимушений простій апаратури через відмови не враховується.

При цьому під елементом розуміють будь-яку складову частину пристрою, розглянуту в даних умовах оцінки як єдине ціле.

Показником безвідмовності служить ймовірність безвідмовної роботи - імовірність того, що в межах заданого напрацювання відмова не виникає.

У таблиці 3.3 наведені дані для розрахунку інтенсивності відмов пристрою.

Таблиця 3.3 - Інтенсивність відмов елементів

N	Елемент	$\lambda_{0i} \cdot 10^6$	α_j	$K_{\lambda 1}$	$K_{\lambda 2}$	$K_{\lambda 3}$	N_i	$\lambda_i \cdot 10^6$	$\lambda_i \cdot N \cdot 10^6$
1	Atmega8	0,1	3	1	1	1,65	1	0,495	0,495
2	Конденсатор танталовий	0,24	1	-//-	-//-	-//-	1	0,396	0,396
3	Конденсатор керамический	0,14	1	-//-	-//-	-//-	2	0,231	0,462
4	Резистор	0,5	0,8	-//-	-//-	-//-	16	0,66	10,56
5	Транзистор	0,2	1,2	-//-	-//-	-//-	16	0,264	4,224
6	Разъем	1,2	0,6	-//-	-//-	-//-	2	1,188	2,376
7	Друкована плата	0,5	0,04	-//-	-//-	-//-	1	0,033	0,033
8	Пайка	0,004	0,5	-//-	-//-	-//-	50	0,0033	0,165

Визначаємо інтенсивність відмов пристрою:

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot N_i \approx 19,37 \cdot 10^{-6} \text{ (1/ч)}. \quad (3.20)$$

Результати представлені у вигляді графіка на рисунку 3.2.

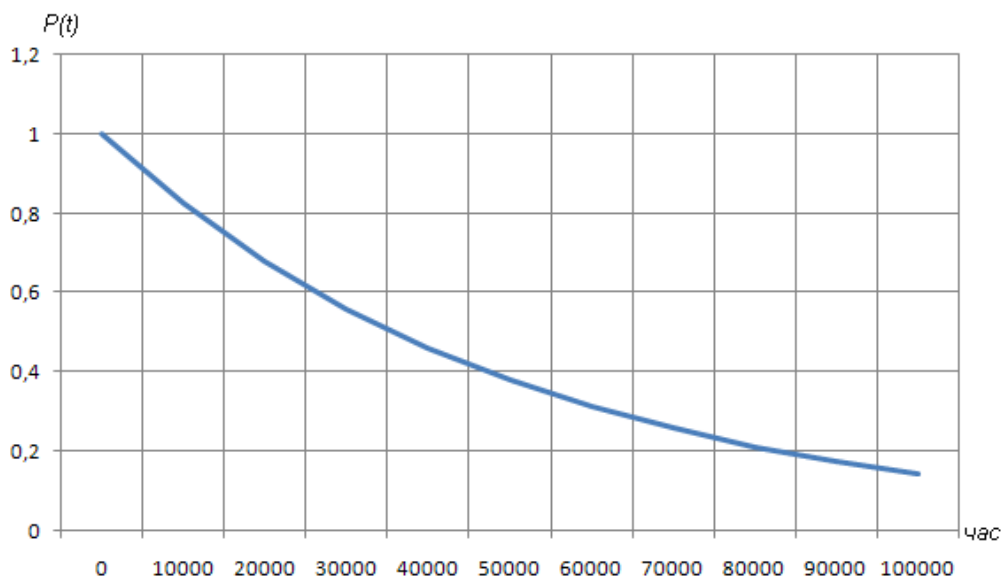


Рисунок 3.2 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи приладу від часу

Знаходимо середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\Lambda_0} = 51626 \text{ ч.} \quad (3.21)$$

Таким чином середній час напрацювання на відмову склав 51626 год.

3.6 Техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального варіанту розв'язання основної задачі роботи

Основне завдання даної роботи є забезпечення мінімізації габаритів і маси нового виробу. Кращий буде той варіант рішення основної задачі роботи, який забезпечує найменші габарити та масу. Нова розробка при відповідності останніх нормативним даним.

Вибір оптимального варіанту конструкції здійснюємо, використовуючи метод комплексного сертифіката. Показники: об'ємом, масою, інтенсивністю відмов та собівартістю. Комплексний Показник обчислюємо за формулою

$$Q = K_1 \cdot \frac{M}{M_{\text{ТЗ}}} + K_2 \cdot \frac{V}{V_{\text{ТЗ}}} + K_3 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\text{ТЗ}}} + K_4 \cdot \frac{C}{C_{\text{ТЗ}}} \quad (4.23)$$

де M – маса пристрою;

V – об'єм пристрою;

λ – інтенсивність відмов;

C – ціна виробу;

$M_{\text{ТЗ}}, V_{\text{ТЗ}}, \lambda_{\text{ТЗ}}, C_{\text{ТЗ}}$ – відповідно об'єм, маса, інтенсивність відмов та ціна приладу згідно технічного завдання;

K_1, K_2, K_3, K_4 – вагові коефіцієнти, що відповідно дорівнюють 0,7, 0,8; 0,9 та 1,0.

Умовно приймемо вартість для другого варіанту із техніко-економічного обґрунтування за аналог, а надійність – визначається із часу напрацювання і ТЗ, тому розрахунки будемо здійснювати, спираючись на ці дані.

Обчислимо комплексний показник для розглянутих варіантів:

$$Q_1 = 0,7 \cdot \frac{160,3}{450} + 0,8 \cdot \frac{434,7}{600} + 0,9 \cdot \frac{7,02 \cdot 10^{-6}}{25 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{250}{450} = 1,71;$$

$$Q_2 = 0,7 \cdot \frac{110,6}{450} + 0,8 \cdot \frac{434,7}{600} + 0,9 \cdot \frac{7,02 \cdot 10^{-6}}{25 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{210}{450} = 1,47;$$

$$Q_3 = 0,7 \cdot \frac{119,5}{450} + 0,8 \cdot \frac{568,4}{600} + 0,9 \cdot \frac{7,02 \cdot 10^{-6}}{25 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{235}{450} = 1,72.$$

Очевидно, що оптимальною слід вважати конструкцію з найменшим значенням комплексного показника. Як видно з наближених розрахунків, коефіцієнт Q_2 має найменше значення, що і підтверджує правильність вибору варіанту конструкції.

Крім того, технічні характеристики і експлуатаційні параметри пристрою, що проектується за другим варіантом компонування, істотно відрізняються від першого та третього. Тому можна вважати, що розробка конструкції USB осцилографа за другим варіантом буде вигідною як з економічної, так і технічної точки зору.

3.7 Розробка конструкції друкованої плати

Друковані схеми відкрили нові потенційні можливості механізації та автоматизації виробничих процесів. При виробництві цифрової апаратури вони дозволяють забезпечити механізацію операцій складання, монтажу й паяння;

Повторюваність монтажного рисунка схеми, а отже, і ідентичність параметрів монтажу; можливість більш повної механізації контрольно-регулювальних операцій.

Друкований монтаж дає також конструктивні переваги і насамперед компактність апаратури і зменшення її ваги.

Наш пристрій має у своєму складі три мікроконтролери та десяток інших мікросхем, причому крок трасування має складати 1,25 мм. Тому, для того, щоб полегшити процес трасування друкованих провідників, оберемо двосторонню плату, з третім класом точності. Це дозволить уникнути використання перемичок та спростить загальний процес трасування плати.

При цьому двосторонні плати характеризуються:

- а) високими комутативними та експлуатаційними якостями;
- б) підвищеною міцністю електричних з'єднання;
- в) високою вартістю.

3.8 Вибір класу точності друкованої плати

Для даного приладу, враховуючи те, що крок координатної сітки трасування, згідно ГОСТ 10317-82, становить 1,25 мм, і саме трасування дещо ускладнене, оптимальним варіантом буде вибір 3-го класу точності друкованої плати □

Даний клас характеризується наступними елементами конструкції □

- а) ширина друкованого провідника в широких 0 □ 45 мм;
- б) ширина друкованого провідника у вузьких місцях 0 □ 25 мм;
- в) відстань між двома друкованими провідниками 0 □ 25 мм;
- г) гарантійний поясок зовнішнього шару 0 □ 10 мм;
- д) гарантійний поясок внутрішнього шару . 0 □ 05 мм □

В широких місцях ширина друкованого провідника визначається наступним класом по старшинству – для третього це буде другий клас.

3.9 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваємо наступні вимоги:

- а) висока технологічність;
- б) гарні електрофізичні властивості;
- в) забезпечення високої адгезії припою;
- г) мінімальні механічні короблення та деформації.

Таблиця 3.4 - Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Найчастіше для виготовлення друкованої плати використовують склотекстоліт і гетинакс, марок:

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

Товщина ж друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається залежно від елементної бази та навантажень.

Найкращими параметрами, згідно таблиці 4.3, володіє склотекстоліт. Тому в якості матеріалу для друкованої плати обираємо склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-1,5. Дана марка має товщину фольги 35 мкм, а товщина всього матеріалу з фольгою становить 1,5 мм. Даний матеріал застосовується для виготовлення двосторонніх та односторонніх друкованих плат.

3.10 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується залежно від діаметрів отворів за формулою:

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 \times \epsilon + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (3.23)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{отв}}$ – верхній допуск на діаметр отвору;

ϵ – ширина гарантійного пояса;

$\Delta t_{\text{в}}$ – верхній допуск на ширину провідника;

$\Delta t_{\text{тр}}$ – допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d – позиційний допуск розміщення отворів;

T_D – позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

$\Delta t_{\text{нв}}$ – нижній допуск на ширину провідника.

Для двосторонньої плати третього класу значення параметрів наступні:

$$\Delta d_{\text{отв}} = 0 \text{ мм}; \quad \epsilon = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{в}} = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{тр}} = 0;$$

$$T_d = 0,08 \text{ мм}; \quad T_D = 0,15 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{нв}} = 0,1 \text{ мм}.$$

Визначаємо загальний допуск:

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0 + 2 \times 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою:

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2 \dots 0,4),$$

де $d_{\text{вив}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В даному приладі елементи мають наступні діаметри виводів (за таблицею 2.1):

$$0,5; 0,6; 0,9 \text{ мм}.$$

Здійснюємо оптимізацію діаметрів отворів:

$$d_1 = 0,5 + 0,4 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,6 + 0,3 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,9 + 0,2 = 1,1 \text{ мм}.$$

Маємо два діаметри отворів:

$$d_1 = 0,9 \text{ мм};$$

$$d_2 = 1,1 \text{ мм}.$$

Знаходимо діаметр контактних площадок:

$$D_1 = 0,9 + 0,5 = 1,4 \text{ мм.}$$

$$D_2 = 1,1 + 0,5 = 1,6 \text{ мм.}$$

3.11 Розрахунок ширини провідників.

Розрахунок ширини провідників проводиться для шин живлення та для інформаційних провідників.

Для шин живлення:

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (3.24)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, для двосторонньої плати, виготовленої комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$,

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

I_{\max} – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\max} = 0,1 \text{ А}$. Обчислюємо:

$$B_{\min} = \frac{0,1}{48 \cdot 0,035} = 0,06 \text{ мм} = 60 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t},$$

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

I_{\max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,1 \text{ А}$,

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0,07 \text{ м}$,

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{\text{доп}} = 9 \times 0,05 = 0,45 \text{ В}$),

t – товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,1 \cdot 0,0175 \cdot 0,07}{0,45 \cdot 0,035} = 0,008 \text{ мм} = 8 \text{ мкм} (< 250 \text{ мкм}).$$

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

3.12 Трасування друкованої плати

Установка навісних радіоелементів вузла на друкованій платі здійснюється згідно з ОСТ4ГО010030 та ОСТ4ГО010009. В процесі розташування радіоелементів необхідно враховувати наступні фактори: мінімізація габаритних розмірів, забезпечення високої надійності їх роботи, забезпечення відведення тепла від плати та питання ремонтпридатності.

В процесі трасування друкованих провідників необхідно досягти мінімальних довжин зв'язків між радіоелементами, мінімізації паразитних зв'язків між друкованими провідниками та радіоелементами і, якщо це можливо, потрібно виконати рівномірне розташування навісних елементів на друкованій платі.

У зв'язку з складним трасуванням в нашому випадку обираємо крок координатної сітки 1,25 мм. Координатну сітку на поверхні розташовуємо згідно з ГОСТ 2417-78. Всі операції в подальшому здійснюємо автоматизовано, використовуючи програмний пакет OrCAD-2001.

Розроблення друкованої плати розпочинаємо, завантаживши OrCAD Layout, і вибравши опцію File / New.

Для опчатку вводимо ім'я технологічного шаблону – default.tch з робочої папки (відноситься до стандартного набору OrCAD). Оскільки елементна база в пристрої – закордонна, то використання шаблону metric.tch недопустиме. Це пояснюється тим, що відстань між выводами елементів та осьовими отворами радіоелементів у визначається англійській – дюймовій мірі.

Далі, завантажуюмо із робочої директорії файл списку з'єднань Ionometr.MNL. В ньому у вигляді таблиці описано всі електричні з'єднання між елементами для початку процесу трасування.

Після цього необхідно задати назву файлу плати, який ми створимо – він має розширення *.max; і для спрощення називаємо його Ionometr.MAX.

В процесі завантаження списку з'єднань для кожного елементу електричної принципової схеми в бібліотеках корпусів компонентів *.LLB (Footprint Libraries) необхідно обирати відповідний корпус (це контролюється за допомогою атрибута PCB Footprint або за допомогою файлу System.prt).

Натисненням на панель Link existing footprint to component, після відкриття відповідного діалогового вікна, обираємо ім'я бібліотеки і корпуса елемента, зображення якого підходить для обраних мікросхем – стабілізаторів живлення, так як для них не виявилось зарезервованого посадкового місця на платі. Після завершення процесу завантаження списку з'єднань на робочому екрані OrCAD Layout спостерігаємо корпуси

радіокомпонентів даного проекту з їх електричними зв'язками. Вказуємо в меню *Options / Sistem Settings* міліметрову сітку поля, яка дозволить зручніше здійснювати розміщення радіокомпонентів на поверхні плати.

Обираємо команду *Tool / Obstacle / New* і рисуємо межу друкованої плати для розміщення компонентів і трасування. Так як трансформатор розміщений не на друкованій платі, то обираємо прямокутний розмір плати.

Далі розміщуємо компоненти, які повинні мати фіксовані посадочні місця на платі. Це – роз'єм, транзистори та аналогові мікросхеми. Здійснюємо цю операцію за допомогою команди *Tool / Component / Select Tool* – по черзі ставимо компоненти на відповідне місце, обов'язково фіксуємо їх командою *Tool / Component / Fix*, щоб після автоматичного розміщення вони не змістилися.

Потім командою *Auto / Place / Board* задаємо програмі самій розмістити компоненти, що лишилися, у вільну задану область.

Тепер задаємо в закладках ширину провідників і т. д., щоб перейти до безпосереднього трасування плати.

А ще по команді *Options > Route Strategies > Route Layers* у таблиці трасування відключаємо два “нижніх” шари – адже плата має бути двосторонньою, і чотири шари для трасування не потрібні.

Командою *Auto / Autoroute / Board* запускаємо на виконання програму автоматичного трасування плати. Глобальні параметри стратегії автотрасування задані в діалоговому вікні, яке відкривається по команді *Options > Route > Setting*. Всі інші параметри задані в діалогових вікнах, що відкриваються по командах *Options > Route Strategies*.

По закінченню починаємо редагування отриманого результату за допомогою команд *Options > Route Strategies > Manual Route* і *Tools > Sketch a Track*, та оформляємо креслення згідно з вимогами ГОСТ.

Далі за допомогою інструментів для малювання на панелі інструментів проводимо контури плати, і далі роботу із графічними зображеннями здійснюватимемо у програмі “Visio-XP”, де зручно працювати із шарами і є додаткові можливості у порівнянні з програмами САПР.

3.13 Розрахунок плати на вібростійкість

Визначаємо частоту власних коливань за формулою:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 * a^2} (1 + \frac{a^2}{b^2}) \sqrt{\frac{D}{M}} ab, \quad (3.25)$$

де a, b – довжина і ширина плати: $a = 125$ мм, $b = 65$ мм;

D – циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (3.26)$$

де E – модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \times 10^{10}$ Н/м²;

h – товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M – маса плати з радіoeлементами, $M = 17 + 31 = 48$ г.

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} = 9,45;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,125^2} \left(1 + \frac{0,125^2}{0,065^2}\right) \sqrt{\frac{9,45}{0,048}} \cdot 0,125 \cdot 0,065 = 597 \text{ Гц.}$$

$$f \neq f_p$$

$$80 \text{ Гц} \neq 597 \text{ Гц.}$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з резонансною частотою, а співвідношення розмірів плати задовольняють вимогам вібростійкості.

Визначаємо коефіцієнт динамічності за формулою:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (3.27)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – залежність коефіцієнта від коливань. Коли обидва краї закріплені $K(x) = K(y) = 1,3$;

η – коефіцієнт розстроювання:

$$\eta = f/f_p = 80/597 = 0,13;$$

ε – показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

λ – декремент затухання $\lambda = (2 \dots 10) \cdot 10^{-2}$.

Маємо:

$$K_{\text{дин}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,13^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,13^2}{(1 - 0,13^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,13^2}} = \sqrt{\frac{1,0234}{0,966}} = 1,03.$$

Віброзміщення визначається за формулою:

$$S_B = \xi_0 \times K_d, \quad (3.28)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2(f_p)^2}$$

де a_0 – віброприскорення згідно технічного завдання, $a_0 = 2g = 19,8 \text{ м/с}^2$.

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 573^2} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм},$$

$$S_B = 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,03 = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

віброприскорення:

$$a_B = a_0 \cdot K_D = 19,8 \cdot 1,03 = 20,39 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Визначаємо прогин плати:

$$\delta_1 = S_B - \xi_0 = 1,57 \cdot 10^{-6} - 1,5 \cdot 10^{-6} = 7 \cdot 10^{-8} \text{ (мм)},$$

$$\delta_{\text{гран}} = \delta_{\text{дон}} \cdot l^2 = 11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,125^2 = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ (мм)}.$$

$$\delta_1 < \delta_{\text{гран}},$$

Отже прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення, можна сказати, що вібраційні навантаження не вплинуть на роботу пристрою.

3.14 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

Зі збільшенням швидкодії схеми все більшого значення набувають питання високочастотних зв'язків між елементами. При цьому стає обов'язковим не тільки визначення параметрів тієї або іншої лінії зв'язку (опору, ємності, індуктивності тощо), але і міри впливу їх одна на одну (паразитні ємність, взаємоіндуктивність і т. ін.). Це особливо важливо в мікроелектронних виробках, бо час переключення елементів складає одиниці наносекунд і щільність розміщення мікросхем достатньо висока.

Електричні параметри елементів друкованої плати залежать від цілого ряду чинників, що в тій чи іншій мірі впливають на зміну розрахункових величин : режиму роботи схеми, матеріалу захисних покриттів, технології виготовлення і т. ін. Комплексне врахування всіх цих чинників достатньо складне і тому недоцільне на етапі проектування друкованої плати. Тут необхідний орієнтовний, з достатнім ступенем точності, розрахунок, який перевіряється і уточнюється після виготовлення і дослідження першої партії друкованих плат [15, 16].

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності пристрою в умовах впливу перехресних перешкод в лініях зв'язку, а також зовнішніх електромагнітних полів [22].

1. Діелектрична проникність середовища між провідниками, що розташовані на зовнішній поверхні плати, яка покрита лаком, дорівнює:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Lambda}}{2}, \quad (3.29)$$

де $\varepsilon_{\Pi} = 6$ – діелектрична проникність стеклотекстоліту;

$\varepsilon_{\Lambda} = 4$ – діелектрична проникність лаку УР-231;

$$\varepsilon_r = 0,5 \cdot (6 + 4) = 5.$$

2. Визначаємо взаємну ємність та індуктивність провідників, які розташовані на одній поверхні друкованої плати:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}], \quad (3.30)$$

де $\delta = 5 \times 10^{-4}$ – найменша відстань між двома провідниками, м;

$W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ – товщина провідного шару міді, м;

$b = 2,5 \cdot 10^{-4}$ – ширина провідників для третього класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 2,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 9,72 \text{ (пФ)}.$$

Паразитна взаємоіндукція між двома друкованими провідниками M , нГн, визначається за формулою [22]:

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}], \quad (3.31)$$

де S – відстань між провідниками, $S = 0,05$ см;

l_2 – довжина взаємного перекриття провідників, $l_2 = 7$ см;

t_1, t_2 – ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,025$ см.

Маємо:

$$M = 2 \cdot 7 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 7}{0,05 + 0,5 \cdot (0,025 + 0,025)} - 1 \right) = 59,2 \text{ (нГн)}.$$

Визначаємо паразитну ємність для аналогової мікросхеми (за коефіцієнта підсилення операційного підсилювача $K = 1000$, вхідного опору $R_{\text{вх}} = 1$ кОм, частоти $f = 100$ кГц):

$$C_{\text{нап}} = \frac{1}{K \cdot R_{\text{вх}} \cdot \omega} = \frac{1}{1000 \cdot 75 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^5} = 20 \text{ (нФ)}.$$

Визначаємо допустиму взаємоіндукцію для мікросхеми (за опору навантаження $R_H = 1$ кОм):

$$M_{\text{доп}} = \frac{R_H}{K \cdot \omega} = \frac{1000}{1000 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 10^5} = 1,5(\text{мкГн}).$$

Із запропонованих розрахунків паразитних ємностей і індуктивностей видно, що їхні параметри знаходяться в межах норми і не потрібно додаткових засобів з їх зниження, адже і ємність, і паразитна взаємоіндукція між провідниками мають значення, менші за допустимі.

3.15 Тепловий розрахунок пристрою

В процесі виробництва, зберігання і експлуатації пристрій зазнає дії різних температур. Сам пристрій є джерелом тепла, оскільки ККД транзисторів і мікросхем становить 50...60 %, тому значна кількість енергії виділяється у вигляді тепла. Якщо ця енергія не розсіюється, то підвищується температура пристрою і зростає інтенсивність відмов.

Визначимо тепловий режим і виберемо систему охолодження згідно з методикою [21]. Початковими даними для розрахунку є наступні:

а) внутрішні розміри пристрою: $0,133 \times 0,068 \times 0,044$ м;

б) внутрішній об'єм пристрою $V \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$;

в) потужність розсіювання:

$$P = P_{\text{рез}} + P_{\text{інд}} + P_{\text{мік}} + P_{\text{діод}} = 40 \cdot 0,125 + 3 \cdot 0,75 + 16 \cdot 0,1 + 0,05 \approx 8,9(\text{Вт});$$

г) коефіцієнт заповнення $K_{\text{ЗАП}} = 0,2$;

д) максимальна температура довкілля (вибирається за найменшою температурою з гранично допустимих для всіх елементів) $T_{\text{макс}} = + 70 \text{ }^\circ\text{C} = 343 \text{ К}$;

е) гранично допустиме перегрівання повітря в пристрої (за максимальної температури повітря $T_{\text{пов}} = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 308 \text{ К}$):

$$\theta_{\text{в.доп}} = 358 - 308 = 50(\text{К}).$$

Визначаємо коефіцієнт форми пристрою:

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}}, \quad (3.32)$$

де H – висота блоку, м;

V – внутрішній об'єм пристрою, м^3 ;

$$K_0 = \frac{0,044}{\sqrt[3]{4 \cdot 10^{-4}}} = 0,6.$$

Визначаємо площу поверхні відведення тепла за формулою:

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{3\text{АП}} \cdot \sqrt{K_0} \right), \quad (3.33)$$

отримаємо:

$$S_3 = \sqrt[3]{(4 \cdot 10^{-4})^2} \cdot \left(\frac{2}{0,6} + 4 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{0,6} \right) = 0,1(\text{м}^2).$$

Визначаємо питомий тепловий потік нагрітої зони:

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (3.34)$$

де Φ – потужність розсіювання, яка становить 40% від споживаної потужності:

$$\Phi = \Phi = 0,4 \cdot 8,9 = 3,56(\text{Вт});$$

$$q_3 = \frac{3,56}{0,1} = 35,6(\text{Вт} / \text{м}^2).$$

За графіком на рисунку 13.31, в [21] визначаємо перегрівання для апаратури з природною конвекцією:

$$M[\theta_B] = 30\text{К}.$$

Порівнюємо значення $\theta_{\text{в.дон}} = 50\text{К}$ і отримане значення:

$$\theta_{\text{в.дон}} > M[\theta_B],$$

а отже, забезпечено умови нормального теплового режиму, і природної конвекції для цього достатньо.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Вибір засобів розробки програмного забезпечення

Мікроконтролери AVR містять: швидкісний RISC-процесор, два типи енергонезалежній пам'яті (Flash - пам'ять програм і пам'ять даних EEPROM), оперативну пам'ять RAM, порти введення / виводу, а також різні допоміжні інтерфейсні схеми.

Основою мікроконтролерів сімейства AVR є 8 -бітове мікропроцесорне ядро (центральний процесорний пристрій – ЦПП) , побудований на принципах архітектури мікропроцесорів RISC. Основним елементом цього блоку є арифметико-логічний пристрій (АЛП). Системний тактовий сигнал з пам'яті програм відповідно до вмісту лічильника команд (Program Counter - PC) вибирає чергову команда, яка надходить на виконання АЛП. В процесі вибору команди з пам'яті програм паралельно здійснюється виконання попередньої вибраної команди, що і дозволяє досягти швидкодії 1 MIPS на 1 МГц.

АЛП підключено до регістрів загального призначення (General Purpose Registers - GPR), яких є всього 32, вони мають байтовий формат, тобто кожен з них містить вісім біт. GPR розташовані на початку адресного об'єму оперативної пам'яті, але фізично не входять до її складу. Тому до них можна звертатися у два способи – як до регістрів і як до пам'яті. Ця особливість AVR підвищує ефективність роботи і продуктивність мікроконтролера.

Різниця між регістрами і оперативною пам'яттю зосереджена у тім, що з регістрами можна виконувати будь-які операції (арифметичні, логічні, бітові), а в простір оперативної пам'яті дозволяється записувати лише дані з регістрів.

Загальний алгоритм функціонування системи виглядає наступним чином. Після включення живлення система проводить початкову ініціалізацію пристроїв мікроконтролера (налаштовує роботу портів, переривань,) та входить в робочий цикл, в якому викликається підпрограма динамічної індикації результату та по суті здійснюється очікування переривання INT0.

Мікроконтроллер зчитує з порту P0 наявний в ємності рівень рідини, записує отриманий результат в акумулятор і виводить дані на індикатор. Після введення через P2.0, P2.1 та P2.3 заданого рівня, порівнює його із реальним і відповідно в залежності від результату включає або ні насос. При чому процес зчитування та порівняння безперервний.

4.2 Розподіл ресурсів МПС

Як вже зазначалося раніше, код програми знаходиться у внутрішній пам'яті програм мікроконтролера, починаючи з адреси 00. В першому рядку програми здійснюється безумовний перехід на мітку Start (безпосередньо початок програми). Починаючи з адреси 03 (вектор переривання по входу INT0) розміщується текст підпрограми обробки переривання. По завершенні підпрограми обробки система повертається до основної програми. Переривання повинне бути дозволене. Для дозволу реакції мікроконтролера на переривання від зовнішніх джерел повинні бути програмно встановлені відповідні біти в регістрі ІЕ. По завершенню підпрограми обробки переривань система повертається до основної програми.

Призначення використаних реєстрів:

R0 - код введеного рівня

R1 – наявний рівень

R2 – проміжний рівень

Весь код програмного забезпечення послідовно записаний в пам'яті програм.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В Україні щорічно травмується близько 30 тис. людей, з яких приблизно 1,3 тис. – гине, близько 10 тис. – стають інвалідами, а більш 7 тис. людей одержують профзахворювання. Величезні втрати робочого часу через непрацездатність потерпілих, що обумовлена умовами праці і обчислюється мільйонами «людино-днів». Відповідно до Конституції України йдеться: життя людини є найвищою цінністю у нашій країні. Збереження життя і здоров'я фактично є пріоритетним напрямком розвитку будь-якої держави і головним гарантом її ефективного функціонування. Україні в даному питанні, на жаль, відстає, тому корисним заходом для покращення стандартів охорони праці в нашій країні є вивчення та запозичення вдалого міжнародного досвіду

Розробка мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими. На працівника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [1], могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів розробляємо рішення щодо безпечного виконання роботи під час проектування автоматизованої системи контролю охолодження деталей промислової нагрівальної печі.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Обладнання робочого місця

Робоче місце розробника мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою обладнане великою кількістю технічних пристроїв. Це перш за все персональний комп'ютер, принтер, сканер, ксерокс, і різноманітні засоби телефонного зв'язку.

Організація робочого місця дослідника забезпечує відповідність усіх елементів робочого місця та їх розташування ергономічним вимогам характеру та особливостями трудової діяльності.

При розміщенні робочих місць з ПК було дотримано таких вимог:

- відстань між бічними поверхнями ПК не менша за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого не менша 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць не менший 1 м. Вимоги цього пункту щодо відстані між бічними поверхнями ПК та відстані між тильною поверхнею однієї ПК та екраном іншого враховуються також при розміщенні робочих місць з ПК в суміжних приміщеннях, з урахуванням особливостей стін та перегородок.

Організація робочого місця, яке передбачає використання ПК для управління технологічним обладнанням повинна передбачати:

- достатній простір для працівника;
- вільну досяжність органів ручного управління в зоні моніторного поля: відстань по висоті – 900-1330 мм, по глибині – 400-500 мм;
- розташування екрану ПК в робочій зоні, яке забезпечувало б зручність зорового спостереження, а також зручність використання ЕОМ під час коригування керуючих програм одночасно з використання основних виробничих операцій;
- можливість повертання екрану ПК навколо горизонтальної та вертикальної осі.

Конструкція робочого місця дослідника (при роботі сидячи) забезпечує підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками:

- ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг;
- стегна – в горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом 70°-90° до вертикальної площини;
- зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини;
- нахил голови - 20° відносно вертикальної площини.

Розміщення принтера на робочому місці забезпечує добру видимість екрану ПК, зручність ручного керування пристроєм введення-виведення інформації в зоні досяжності моторного поля: по висоті 900-1300 мм, по глибині 400-500 мм.

Висота робочої поверхні столу для ПК має бути в межах 680-800 мм, а ширина – забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності

моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота – 725 мм, ширина – 600-1400мм, глибина – 800-1000 мм.

При приміщеннях з ПК мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою.

Щодо вимог до режимів праці і відпочинку при роботі з ПК то під час роботи з ПК для збереження здоров'я працівників, запобігання профзахворюванням і підтримки працездатності встановлюються внутрішньо змінні регламентовані перерви для відпочинку.

У випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосовувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ПК не повинна перевищувати 4 годин.

Усю будівлю, в тому числі і досліджуване приміщення, електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами.

Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ПК: ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони за ПВЕ та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні, де відбувалася проектування автоматизованої системи контролю охолодження деталей промислової нагрівальної печі виконані як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні не менші за площу перерізу фазового провідника.

Заборонено під'єднувати обладнання до звичайної двопровідної електричної мережі, зокрема з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електричних розеток виконані за магістральною схемою, по 3-6 в одному колі. Оскільки вони розташовані уздовж стін, то провідники прокладені по підлозі в металевих трубах і гнучких металевих рукавах. Металеві трубки і гнучкі металеві рукави заземлені.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Показниками, що характеризують мікроклімат, є: температура повітря ($^{\circ}\text{C}$), відносна вологість повітря (%), швидкість руху повітря (м/сек.), інтенсивність теплового випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Робота розробника мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою за енерговитратами відноситься до категорії 1а [4]. Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а (згідно ДСН 3.3.6.042-99 [5]) наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, $^{\circ}\text{C}$	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря застосовують вентиляцію. Загальнообмінна вентиляція використовується для забезпечення в приміщеннях відповідного мікроклімату; місцеві вентилятори – для охолодження ПК і допоміжних пристроїв. У холодну пору року передбачається система опалення. Для опалення приміщення використовується водяна система центрального опалення.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється розробка мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою, можливими забруднювачами повітря може бути офісна техніка та пил, який потрапляє ззовні.

Загазованість – це наявність різноманітних газів у повітрі робочої зони, які, потрапляючи в організм людини через органи дихання, шкіряний

покрив, шлунково-кишковий тракт, можуть спричинити отруєння й враження органів і систем життєзабезпечення. У зв'язку з цим сучасні методи виявлення отруйних речовин у повітрі й захист від них мають велике значення для забезпечення сприятливих умов для роботи. Для цього відбирають проби повітря на основних робочих місцях. За результатами аналізу взятих проб повітря судять про ступені шкідливості повітряного середовища.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Фенол	0,01	0,01	3
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Окрім хімічного складу, важливо також, щоб повітря мало певний іонний склад. У повітрі містяться негативні й позитивні іони. У закритих приміщеннях легкі іони поглинаються в процесі дихання, а також пилом, одягом тощо. Тому ступінь іонізації вважається досить добрим індикатором чистоти повітря. Експериментально підтверджено негативну дію деіонізованого повітря. У людей з'являються сонливість, головний біль, підвищується артеріальний тиск тощо. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування повітря, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3. Виробниче освітлення

Виробниче освітлення нормується на робочих поверхнях.

Обираючи систему освітлення, виходять з погляду економічності або гігієнічності. Система комбінованого освітлення більш економічна і дозволяє на робочих місцях створювати високу освітленість. Система загального освітлення з погляду гігієни праці краща, тому що вона дозволяє створити рівномірний розподіл освітленості у всьому приміщенні, усунути різкі тіні й контрасти.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні під час проектування автоматизованої системи контролю охолодження деталей промислової нагрівальної печі (згідно ДБН В.2.5-28-2018 [6]) зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, Лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє бокове	Бокове	Верхнє або верхнє бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимально можливе бічне природне освітлення.
- 2) Штучне освітлення в приміщеннях з робочим місцем, обладнаним ВДТ, має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення.
- 3) Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК і клавіатури повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої, вікна повинні мати жалюзі або штори.

5.2.4 Виробничий шум

Шум – це найпоширеніше явище у промисловому виробництві. Не становить великих труднощів виявити наявність підвищених шумів і провести необхідні заміри, але зниження рівня шумів може вимагати істотних витрат.

Нормування шуму для робочих місць регламентується санітарними нормами ДСН 3.3.6.037-99 [7] та державним стандартом. Для постійних шумів нормування ведеться по граничному спектру шуму.

Під час проектування автоматизованої системи контролю охолодження деталей промислової нагрівальної печі допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС, а рівні звуку L_A не повинні перевищувати 50 дБА (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Наукова і творча діяльність	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Основними заходами боротьби з шумом є усунення або ослаблення причин шуму в самому його джерелі у процесі роботи, використання звукопоглинаючих матеріалів, раціональне планування виробничих приміщень.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Оскільки дослідження проводилася за допомогою ПК, то на робочому місці проектувальника можливий підвищений рівень електромагнітного випромінювання.

Сучасні наукові теорії не мають єдності щодо обґрунтування механізму впливу ЕМП на людину, особливо у випадку слабких електромагнітних випромінювань. Ступінь і характер впливу ЕМП на організм людини залежать: від інтенсивності випромінювання; частоти коливань; площі поверхні тіла, що опромінюється; індивідуальних особливостей організму; режиму опромінення (безперервний чи

переривчастий); тривалості впливу; комбінованої дії інших факторів виробничого середовища. У діапазонах промислової частоти, радіочастот, інфрачервоного і частково ультрафіолетового світла електромагнітні поля чинять тепловий вплив,

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/м ²
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/М	
Напруженість електромагнітного поля, 6 кГц...3 МГц	50	5	
3 МГц...30МГц	2	-	
30 МГц...5 ГГц	-	-	10
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру: УФ-С (220...280 нм)			0,001
УФ-В (280...320 нм)			0,01
УФ-А (320. ..400 нм)			10,0
в інфрачервоній частині спектру: 0,76... 10,0 мкм			35,0.. .70,0
Напруженість електричного поля ВДТ			20 вВ/м

Захист персоналу від впливу електромагнітних полів здійснюється шляхом проведення організаційних та інженерно-технічних, лікувально-профілактичних заходів, а також використання засобів індивідуального захисту.

Таким чином, умови праці дослідника в цілому відповідають існуючим санітарно-гігієнічним нормам.

5.3 Пожежна безпека

В приміщенні, де здійснювалася розробка мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення

відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень.

За вогнестійкістю будинок відноситься до другої категорії [8], що відповідає вимогам [9]. Робоча зона приміщення віднесена до класу вибухонебезпечності В-ІІа та пожежонебезпечності П-ІІа, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

5.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

У досліджуваному приміщенні немає легко займистих, самозаймається і вибухових речовин, потужних електроустановок і іскристого обладнання, механізмів з рухомими частинами, знос і корозія яких могли б призвести до пожежі. Всі основні причини виникнення пожежі практично виключені, однак для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

5.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Правила пожежної безпеки в досліджуваному приміщенні наступні:

- для всіх споруд і приміщень з ПК повинні визначатися категорії вибухо- і пожежонебезпеки та класу зон за Правилами влаштування електричних установок, значення яких вказують на дверях;
- носії інформації зберігаються в металевих касетах на негорючих стелажах і шафах, які разом з перфокартами, магнітними стрічками, пакетами магнітних дисків розміщуються у відокремлених приміщеннях;
- звукопоглинальне облицювання стін та стелі необхідно виготовляти з негорючих або важкогорючих матеріалів;
- для промивання деталей використовують мийні препарати, промивання горючими матеріалами дозволяється у спеціальних приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією.

У всіх приміщеннях будинку на видному місці виведені плани евакуації із зазначенням напрямків руху та шляхів евакуації, а також правила

поведінки на випадок пожежі. Евакуація працівників на випадок пожежі відбувається через два виходи на сходові марші, розташовані по різні боки коридорів. Ширина шляхів евакуації не менше 1м, найбільше віддалення робочого місця від евакуаційного входу - 25м. Для гасіння пожежі всередині будівлі в ньому обладнаний внутрішній пожежний водопровід з пожежними кранами і підключеними до них пожежними рукавами. У кожному приміщенні та на поверхах встановлені вогнегасники ОП-5. Біля корпусу є пожежний щит, обладнаний вогнегасником, багром, лопатою, ломом і відром. Під щитом стоїть ящик з піском місткістю 5м³.

ВИСНОВОК

Розроблена в бакалаврській дипломній роботі конструкція мікроконтролерного тепловізора з механічною розгорткою відповідає вимогам технічного завдання.

В бакалаврській дипломній роботі дається оцінка економічної ефективності виробництва проектованої системи, розробка заходів з охорони праці, розроблена комп'ютерна програма для візуалізації даних.

При розробці пристрою було досягнуто значного зменшення споживаної потужності за рахунок використання сучасної елементної бази, вдалось збільшити точність вимірювання, за рахунок використання мікроконтролера зменшити розміри масу та енергоспоживання пристрою.

Однією з переваг нового пристрою є використання в ньому вбудованого в мікроконтролер аналого-цифрового перетворювача, це дало можливість зменшити вартість пристрою, його трудомісткість масу та габарити. Пристрій є стійким до іонізуючих і електромагнітних випромінювань в межах необхідних для його роботи. Він не потребує особливих навичок для користування ним, має зручні органи керування і виведення інформації.

Пристрій побудовано таким чином, щоб його можна було використовувати і для інших цілей, адже існує велика кількість навчальних закладів, майстерень по ремонту побутової техніки, де є необхідність використовувати дистанційні сканери температури. Високі метрологічні характеристики пристрою забезпечується завдяки широкому діапазону вхідної напруги та використанню мікроконтролера як пристрою попередньої обробки результатів аналого-цифрового перетворення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ОЖЕГОВ Роман Викторович - Флуктуационная чувствительность и стабильность приемников с СИС и НЕВ смесителями для терагерцового тепловидения.
2. <http://www.thermoview.ru/articles/primeneniye/>
3. Пирогов Ю. А. Пассивное радиовидение в миллиметровом диапазоне длин волн // Известия ВУЗов "Радиофизика". 2003. Т. XLVI, № 8 - 9. С. 660 - 670.
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/ММІС>.
5. <http://www.teraview.co.uk>.
6. Karpovicz N., Dawes D., Perry M. J., Zhang X.-C. Fire damage on carbonfiber materials characterized by THz waves // International Journal of High Speed Electronics and Systems. 2007. Vol. 17, no. 2. Pp. 213 - 224.
7. <<http://www.frascati.enea.it/THZ-BRIDGE/>>.
8. Zimdars D., White J., Stuck G., et al. Time Domain Terahertz Imaging of Threats in Luggage and Personnel // International Journal of High Speed Electronics and Systems. 2007. Vol. 17, no. 2.
9. Kawase K., Ogawa Y., Minamide H., Ito H. Terahertz parametric sources and imaging applications // Semicond. Sci. Technol. 2005. no. 20. Pp. 258 -- 265.
10. Hubers H.-W. Active Terahertz Imaging for Security (TeraSec). SRC 07, Berlin, 27.03.2007.
11. Краус Д. Д. Радиотелескопия. Пер. с англ., под ред. Железнякова В. В. Москва: Сов. радио, 1973.
12. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. Москва: Наука, 1973.
13. Гершензон Е. М., Гершензон М. Е., Гольцман Г. Н. и др. О предельных характеристиках быстродействующих сверхпроводниковых

болометров.

14. ГОСТ 19.401–78 ЕСПД. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.

15. ГОСТ 19.402–78 ЕСПД. Описание программы.

16. ГОСТ 19.404–79 ЕСПД. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению.

17. ГОСТ 19.701-90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем.

18. ГОСТ 19.781-90 ЕСПД. Обеспечение систем обработки информации и программное. Термины и определения.

19. ГОСТ 5638-75. Фольга медная рулонная для технических целей. Технические условия.

20. ГОСТ 10316-78. Гетинакс и стеклотекстолит фольгированные. Технические условия.

17. ГОСТ 20237-74. Надежность в технике. Расчет показателей безотказности восстанавливаемых объектов (без резервирования).

18. ГОСТ 21623-76. Система технического обслуживания и ремонта техники. Показатели для оценки ремонтпригодности. Термины и определения.

19. ГОСТ 23752-79. Платы печатные. Общие технические условия.

20. ОСТ 4ГО.070.014. Требования к деталям радиоэлектронной аппаратуры.

21. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

22. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання роботи положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

23. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php.

24. ДСТУ-Н Б А 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->

25. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

26. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8425.html>

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobничого-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

28. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

29. Про мінімальні вимоги безпеки при роботі з дисплейним обладнанням: 90/270/ЕЭС. Брюссель : Рада Європейських співтовариств, 1990. URL:<http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. каф. БМІОЕС
Коваль Л. Г.
“ _____ ” _____ 2022 р.

**РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО
ВИМІРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ З МЕХАНІЧНОЮ РОЗГОРТКОЮ
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

Пояснювальна записка
до бакалаврської дипломної роботи
зі спеціальності 163 Біомедична інженерія
Освітня програма «Біомедична інженерія»
08-35.БДР.030.03.000 ПЗ

Розробила студентка гр. БМІ-186

Кохан І. С.

“ _____ ” _____ 2022 р.

Керівник доц. каф. БМІОЕС

Штофель Д. Х.

“ _____ ” _____ 2022 р.

Вінниця ВНТУ 2022

1. Назва БДР: Розробка конструкції безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою

2. Виконавець БДР: студентка групи БМІ-186 Кохан І. С.

3. Підставою для виконання БДР є наказ ВНТУ № 66 від 24 березня 2022 р.

4. Мета виконання БДР і призначення продукції: розробка конструкції мікроконтролерного тепловізора з механічною розгорткою для медичного застосування.

5. Технічні вимоги:

5.1 Живлення приладу 12 В;

5.2 Струм споживання не більше 500 мА

6. Вимоги до сировини та матеріалів: матеріали, з яких вироблятиметься даний прилад, мають бути екологічно чистими, і легкими.

7. Вимоги до консервації, пакування та маркування: не потребує.

8. Вимоги до розробленої документації:

– склад КД: пояснювальна записка, схема електрична принципова, перелік елементів, креслення друкованої плати, складальне креслення друкованої плати.

9. Стадії та етапи БДР:

9.1 Теоретична частина:

- Аналітичний огляд питання;
- Опис схеми електричної принципової;
- Конструкторсько-технологічний розділ;
- Розробка програмного забезпечення.
- Охорона праці

9.2 Графічна частина:

- схема електрична принципова;
- креслення друкованої плати;
- складальне креслення друкованої плати;
- структурна схема пристрою.

Таблиця 1 – Етапи виконання бакалаврської дипломної роботи

Назва розділу дипломного проекту	Строк виконання
Розробка технічного завдання	До 31.03.2022
Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	До 30.04.2022
Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	До 15.05.2022
Виконання розділу «Охорона праці»	До 25.05.2022
Попередній захист БДР	10.06.2022
Нормоконтроль БДР	10.06.2022
Рецензування БДР	21.06.2022

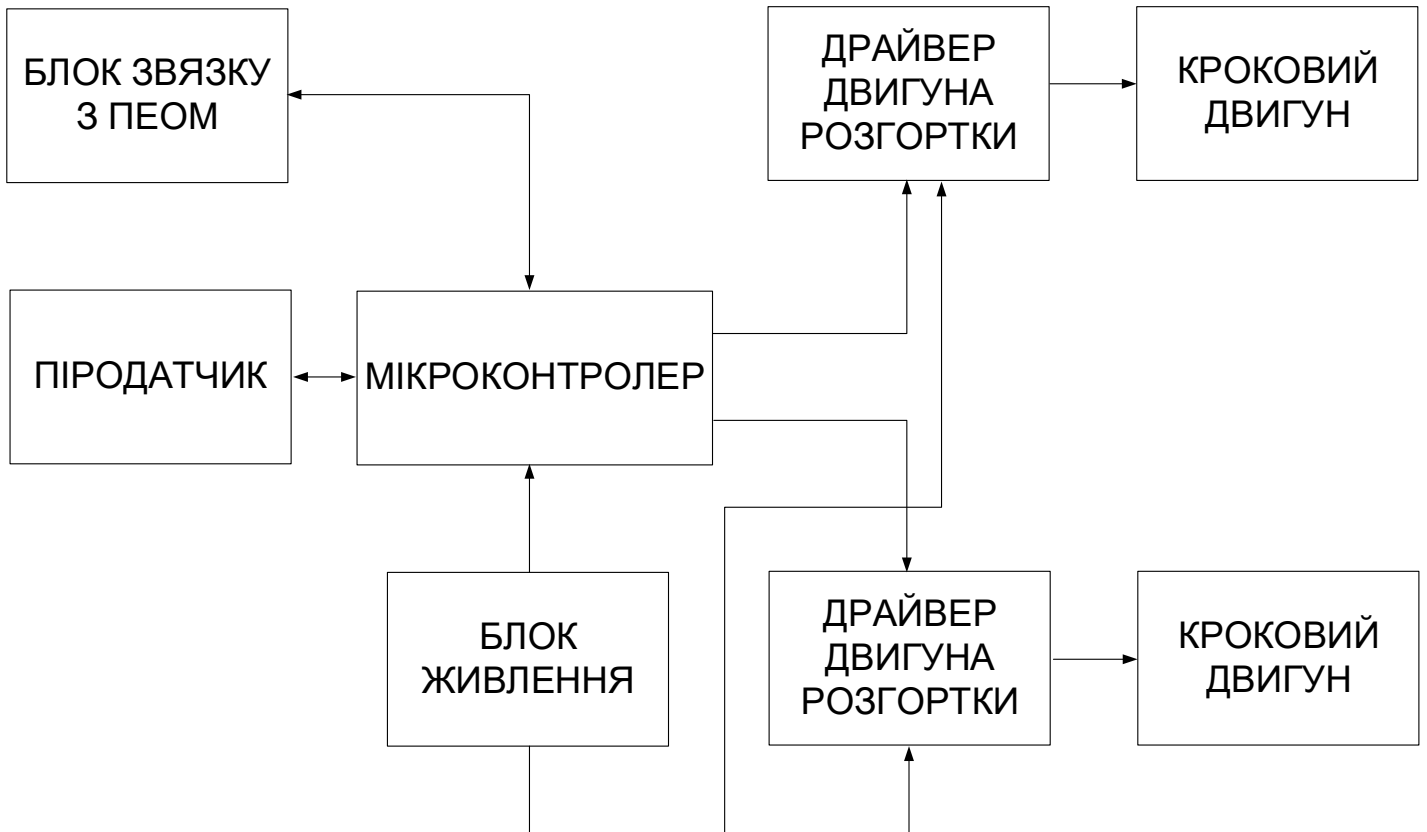
Розробила студентка групи БМІ-186 _____ Кохан І. С.

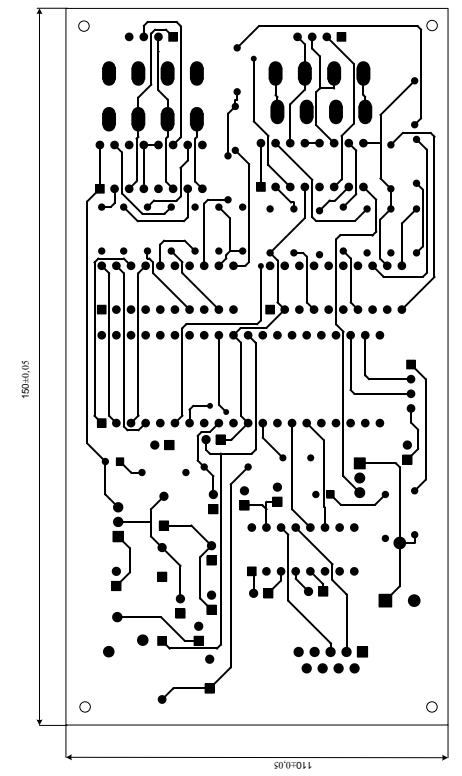
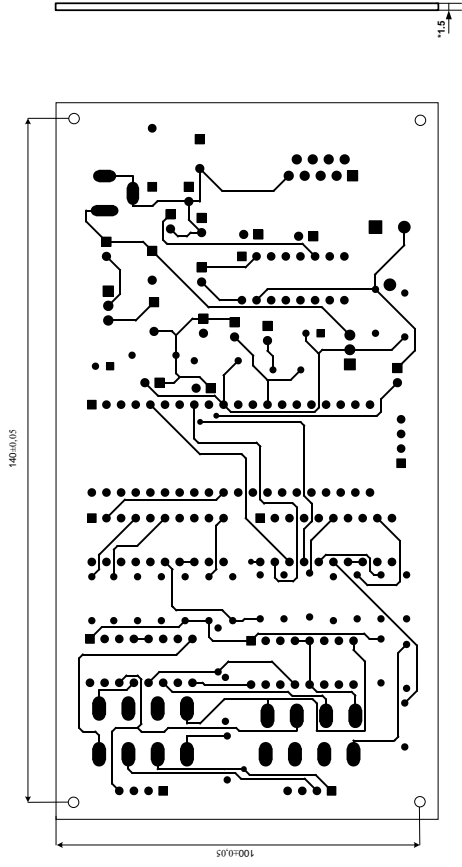
Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО
ВИМІРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ З МЕХАНІЧНОЮ РОЗГОРТКОЮ**

Структурна організація
мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури
з механічною розгорткою





1,5

- 1 * Розміри для фотодрук.
- 2 Плату виготовити комбінованим позначеним методом.
- 3 Допускається довільна форма контактних площадок, $W_{плп} \geq 0,1$ мм.
- 4 Мікросьова відстань між діями отворами становить 0,15 мм.
- 5 Параметри друкуваного рисунку виконати відповідно до таблиць 1, 2.
- 6 На платі виконати маркування елементів відповідно до креслення.
- 7 Заводський номер і дату виготовлення виконати фарбою БМ шрифтом ЗГРЗ по ГОСТу 27.415-86.

Таблиця 2 - Параметри друкуваного рисунка

Параметри друкуваного рисунку	Розмір, мм	
	в ширинних місцях	у вузьких місцях
Ширини провідника	0,45	0,25
Відстань між провідниками	0,45	0,25

Таблиця 1 - Параметри отворів

Умовне позначення отвору	Діаметр отвору	Діаметр зони впливу отвору	Півакитність отвору	Кількість отворів
•	0,9	1,3	є	121
■	1,0	1,5	є	47
○	3,4		немає	4
●	1,1±0,09		є	56

08.35.БДР.030.03.000			
Робота виконана	ЛП	МБС	МБС
Контроль виконано	ЛП	МБС	МБС
Технічне оформлення	ЛП	МБС	МБС
Т. номер Шифра	ЛП	МБС	МБС
Т. номер Шифра	ЛП	МБС	МБС
Стор. 1	Знач.		
ар. БМ-196			

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл	Примітки
				<u>Документація</u>		
A1			08-35.БДР.030.03.000 СК	Складальне креслення	1	
A1			08-35.БДР.030.03.000 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
A4			08-35.БДР.030.03.000 ПЕЗ	Перелік елементів	1	
A4			08-35.БДР.030.03.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				<u>Деталі</u>		
		1	08-35.БДР.030.03.000	Плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Конденсатори		
		2		K10-17-M1500-1мкФ	3	C2,C3,C7-C9
		3		K50-35-16B-100мкФ	7	C4,C6,C10, C14-C16
		4		K10-17-M1500-10мкФ	1	C5
		5		K10-17-H50-100нФ	2	C1,C11
				Мікросхеми		
		6		MAX232	1	DD1
		7		LM317T	1	DD3
		8		LM7805	1	DD2
		9		Atmega16	1	DD4
		10		L297	2	DD5,DD6
		11		L239B	2	DD7,DD8
				Резистори		
		12		СП2-23-0,5-10м±10%	1	R3
		13		C3-39-0,125-6800м±10%	2	R2,R4
		14		C2-23-0,125-10кОм±10%	1	R1

08-35.БДР.030.03.001

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата				
Розроб.		Кохан			Розробка мікроконтролерного безконтактного вимірювача температури з механічною розгорткою СПЕЦЕФІКАЦІЯ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Штофель						
Реценз.						<i>ВНТУ, гр. БМІ-186</i>		
Н. конт.		Штофель						
Затв.		Коваль						

Додаток В
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ

**РОЗРОБКА МІКРОКОНТРОЛЕРНОГО БЕЗКОНТАКТНОГО
ВИМІРЮВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ З МЕХАНІЧНОЮ РОЗГОРТКОЮ**

Лістинг програми роботи мікроконтролера

```

#include <Servo.h>
#include <i2cmaster.h>
#include <EEPROM.h>
//Don't change those values
char st1[30];
long int count = 0;
int mlr;
int mud;
int blr;
int bud;
int lines = 48;
int rows = 64;
char c = 0;
Servo lr; //Servo for left-right movement
Servo ud; //Servo for up-down movement
//Adjust those values if necessary
int lrpin = 9; //Left-Right Servo Pin
int udpin = 8; //Up-Down Servo Pin
void setup(){
  Serial.begin(115200); //BaudRate for Serial Communication
  mlr = EEPROM.read(0)*10; //Read existing calibration from the EEPROM
  mud = EEPROM.read(1)*10;
  if(mlr == 0 || mud == 0){
    mlr = 1275; //Middle point for LR Servo; only used if there is no existing calibration
    mud = 1750; //Middle point for UD Servo; only used if there is no existing calibration
  }
  blr = EEPROM.read(2)*10;
  bud = EEPROM.read(3)*10;
  if(blr == 0 || bud == 0){
    blr = 1600; //Left-Bottom point for LR Servo; only used if there is no existing
calibration
    bud = 1550; //Left-Bottom point for UD Servo; only used if there is no existing
calibration
  }
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); //Enabling Pull-Ups for the MLX90614
  ud.attach(udpin); //Attach servos
  lr.attach(lrpin);

  ud.writeMicroseconds(mud); //Move servos to middle position
  lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void loop(){
  if( Serial.available() > 0 )
  {
    c = Serial.read();
    switch( c )
    {
      case 'a':
        measure();
    }
  }
}

```

```
break;
case 'b':
    middleleft();
break;
case 'c':
    middleright();
break;
case 'd':
    middleup();
break;
case 'e':
    middledown();
break;
case 'f':
    middlesave();
break;
case 'g':
    bottomleft();
break;
case 'h':
    bottomright();
break;
case 'i':
    bottomup();
break;
case 'j':
    bottomdown();
break;
case 'k':
    bottomssave();
break;
case 'l':
    gotomiddle();
break;
case 'm':
    gotobottom();
break;
case 'n':
    res1();
break;
case 'o':
    res2();
break;
case 'p':
    res3();
break;
case 'q':
    res4();
case 'r':
    livetemp();
break;
}
```



```

    }
}
void middleleft(){ //move middle pos left
    mlr += 10;
    lr.writeMicroseconds(mlr);
    ud.writeMicroseconds(mud);
}
void middleright(){ //move middle pos right
    mlr -= 10;
    lr.writeMicroseconds(mlr);
    ud.writeMicroseconds(mud);
}
void middleup(){ // move middle pos up
    mud += 10;
    ud.writeMicroseconds(mud);
    lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void middledown(){ //move middle pos down
    mud -= 10;
    ud.writeMicroseconds(mud);
    lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void middlesave(){ //save middle pos to EEPROM
    EEPROM.write(0,(mlr*0.1));
    EEPROM.write(1,(mud*0.1));
}
void bottomleft(){ //move bottom-left pos left
    blr += 10;
    lr.writeMicroseconds(blr);
    ud.writeMicroseconds(bud);
}
void bottomright(){ //move bottom-left pos right
    blr -= 10;
    lr.writeMicroseconds(blr);
    ud.writeMicroseconds(bud);
}
void bottomup(){ //move bottom-left pos up
    bud += 10;
    ud.writeMicroseconds(bud);
    lr.writeMicroseconds(blr);
}
void bottomdown(){ //move bottom-left pos down
    bud -= 10;
    ud.writeMicroseconds(bud);
    lr.writeMicroseconds(blr);
}
void bottomsavesave(){ //save bottom-left pos to EEPROM
    EEPROM.write(2,(blr*0.1));
    EEPROM.write(3,(bud*0.1));
}
void gotomiddle(){ //go to middle pos
    ud.writeMicroseconds(mud);

```

```

    lr.writeMicroseconds(mlr);
}
void gotobottom(){ //go to bottom-left pos
    ud.writeMicroseconds(bud);
    lr.writeMicroseconds(blr);
}
void res1(){ //set resolution to 64x48
    rows = 64;
    lines = 48;
}
void res2(){ //set resolution to 48x36
    rows = 48;
    lines = 36;
}
void res3(){ //set resolution to 32x24
    rows = 32;
    lines = 24;
}
void res4(){ //set resolution to 16x12
    rows = 16;
    lines = 12;
}
void livetemp(){
    while(true){
        long int tpl;
        char strcount[5];
        itoa (count, strcount, 10);
        tpl = readMLXtemperature(0); // read sensor object temperature
        tpl = tpl *10;
        tpl = tpl / 5;
        tpl=tpl-27315;
        char str1[5];
        strcpy (str1, "");
        char str2[10] = "%li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
        Serial.print(st1);
        delay(200);
    }
}
void measure(){
    int ypos = bud;
    ud.writeMicroseconds(ypos);
    int xpos = blr;
    lr.writeMicroseconds(xpos);
    delay(50);
    readMLXtemperature(0);
    delay(50);
    for(int x=0;x<rows;x++){
        for(int y=0;y<lines;y++){
            temperatur(); //measure temperature at the specific point
            if(y != lines-1){

```

```

        ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
        ud.writeMicroseconds(ypos);
    }
    delay(50);
}
for(int i=0;i<(lines+1);i++){
ypos -= (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
ud.writeMicroseconds(ypos);
delay(5);
}
if(x != rows-1){
    xpos -= (int) ((blr-mlr)*2)/(rows-1);
    lr.writeMicroseconds(xpos);
}
readMLXtemperature(0);
ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
delay(50);
readMLXtemperature(0);
ypos += (int) ((mud-bud)*2)/(lines-1);
delay(50);
}
finish();
}
//do not change
long int readMLXtemperature(int TaTo) {
    long int lii;
    int dlsb,dmsb,pec;
    int dev = 0x5A<<1;
    i2c_init();
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
    if (TaTo) i2c_write(0x06); else i2c_write(0x07);
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
    dlsb = i2c_readAck();
    dmsb = i2c_readAck();
    pec = i2c_readNak();
    i2c_stop();
    lii=dmsb*0x100+dlsb;
    return(lii);
}
//do not change
int getAmbientTemp(){
    long int tpl;
    tpl=readMLXtemperature(1);
    tpl = tpl *10;
    tpl = tpl / 5;
    tpl=tpl-27315;
    return(tpl/100);
}
void temperatur(){
    count++;
    long int tpl;
    char strcount[5];

```

```

    itoa (count, strcount, 10);
    tpl = readMLXtemperature(0); // read sensor object temperature
    tpl = tpl *10;
    tpl = tpl / 5;
    tpl=tpl-27315;
    //Serial communication
    if(count < 10){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "000");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if((count >= 10) && (count < 100)){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "00");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if((count >= 100) && (count < 1000)){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "0");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    else if(count >= 1000){
        char str1[5];
        strcpy (str1, "");
        strcat (str1, strcount);
        char str2[10] = "%03li.%li";
        strcat (str1, str2);
        sprintf(st1,str1, tpl/100, abs(tpl %100) );
    }
    Serial.print(st1); //sent the temperature to the pc software
}
void finish(){
    char roomtemp[3];
    itoa (getAmbientTemp(), roomtemp, 10);
    char roomoutput[4] = "r";
    strcat (roomoutput, roomtemp);
    Serial.print(roomoutput); //send the room temperature to the pc software
    delay(50);
    Serial.print("Stop");
    ud.writeMicroseconds(mud);
    lr.writeMicroseconds(mlr);
}

```