

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
ім. Ю.М. Потебні**

**Кафедра електроніки, інформаційних систем  
та програмного забезпечення**

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота  
перший(бакалаврський)**

(рівень вищої освіти)

на тему "Розробка терменвоксу на базі мікроконтролера ATMEGA16-16PU"

Виконав: студент (ка) 4 курсу, групи 6.1530-с  
спеціальності 153 Мікро- та наносистемна  
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми 153 Мікро- та наносистемна  
техніка

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації 153 Мікро- та наносистемна техніка

(код і назва спеціалізації)

Щербань А.А.

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент,  
к.т.н., Небеснюк О.Ю.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Ген.дир. ТОВ «Омега, ЛТД» Шевченко Т.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2023

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ**  
**ім. Ю.М. Потебні**

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність Мікро- та наносистемна техніка

(назва)

Освітня програма 153 Мікро- та наносистемна техніка

(шифр)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Т.В.Критська

« 30 » травня 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА ЗДОБУВУЧУ ВИЩОЇ**  
**ОСВІТИ**

Щербаню Артему Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи "Розробка терменвоксу на базі мікроконтролера ATMEGA16-16PU"

керівник кваліфікаційної роботи бакалавра Небеснюк О.Ю., к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17 січня 2023 року № 91-с

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи бакалавра 02 травня 2023р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: Терменвокс:  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$ ,  $I_{\text{вх max}} = 1,5 \text{ А}$ ,  $P_{\text{н}} = 10 \text{ Вт}$ ,  $t_{\text{сер}} = 34 \text{ років}$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Аналіз та види датчиків, 2 Розробка електронного музичного приладу, 3 Охорона праці та техногенна безпека

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Л1-Схема електрична принципова, Л2-Блок схема, Л3-Топологія, Л4-Складальне креслення

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	
II	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	
III	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	

7. Дата видачі завдання 24.10.2022р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Примітка
1	<i>Аналіз матеріалу за темою кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.10.22 - 28.11.22</i>	
2	<i>Розробка структурної схеми терменвоксу</i>	<i>28.11.22 - 26.12.22</i>	
3	<i>Розробка схеми електричної принципової, вибір елементної бази</i>	<i>26.12.22. - 17.02.23</i>	
4	<i>Розробка друкованої плати та складального креслення</i>	<i>17.02.23 - 04.04.23</i>	
5	<i>Оформлення другого розділу</i>	<i>04.04. -28.04.</i>	
6	<i>Розділ «охорона праці та техногенна безпека»</i>	<i>28.04. -12.05.</i>	
7	<i>Оформлення третього розділу</i>	<i>12.05. -15.05.</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень</i>	<i>15.05. -30.05.</i>	

Студент \_\_\_\_\_ *Щербань А.А.*  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ *Небеснюк О.Ю.*  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ *Верьовкін Л. Л.*  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## Реферат

Дипломна робота містить 96 сторінок, 10 рисунків, 7 таблиць, 18 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – електронні музичні інструменти

Мета роботи - Розробка терменвокс на основі інфрачервоних датчиків.

Задачі роботи - розробити структурну схему, розробити схему електричну принципову, топологію друкованої плати та складальне креслення терменвоксу.

Методика досліджень - моделювання приладу в програмному середовищі AutoCAD.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено електронний музичний інструмент, що створює звуки за допомогою електромагнітної хвилі, яка генерується за допомогою взаємодії рук музиканта з антенною.

Прогнозні пропозиції – рекомендується застосовувати в музичних творах, кінофільмах, телебаченні та інших галузях, де потрібно створювати незвичні та цікаві звуки. Також може використовуватися в реабілітаційних медичних закладах в курсі музикотерапії.

**ІНФРАЧЕРВОНИЙ ДАТЧИК, МУЗИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ,  
МІКРОКОНТРОЛЕР, ПЛАТА, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, СКЛАДАЛЬНЕ  
КРЕСЛЕННЯ**

Кваліфікаційну роботу виконано в Інженерному навчально-науковому інституті ім.Ю.М. Потебні на кафедрі електроніки інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 16.09.21 р. по 11.05.22р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТА ВИДИ ДАТЧИКІВ.....	9
1.1 Що таке датчики.....	9
1.2 Роль датчиків у житті людей.....	10
1.3 Основні принципи дії датчиків.....	13
1.4 Типи датчиків.....	15
1.5 Класифікація датчиків.....	18
1.6 Принципи точності датчиків.....	21
1.7 Калібрування датчиків.....	22
1.8 Екологічні аспекти датчиків.....	24
2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО МУЗИЧНОГО ПРИЛАДУ.....	28
2.1 Принципи дії терменвоксу та особливості його використання.....	28
2.2 Електронні компоненти.....	29
2.3 Розробка структурної схеми та алгоритму функціонування пристрою.....	30
2.4 Виріб та обґрунтування схеми електричної принципової.....	33
2.5 Розрахунок ланцюга RC.....	36
2.6 Конструктивний розрахунок.....	37
2.7 Організація електричного живлення.....	46
2.8 Розрахунок надійності.....	55
2.9 Технологічний маршрут виготовлення пристрою.....	68
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	70
3.1 Вимоги до безпеки праці.....	71
3.2 Вимоги до промсанітарії.....	73
3.3 Вимоги до пожежної безпеки.....	77
3.4 Вимоги електробезпеки.....	80
3.4.1 Загальні вимоги.....	80
3.4.2 Організаційні заходи.....	82
3.4.3 Розрахунок електромережі на здатність відключення при аварійному режимі роботи електрообладнання.....	83
3.4.4 Технічні заходи.....	85

3.4.5 Номенклатура видів захисту.....	86
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	90

## ВСТУП

Музика вважається популярним способом розваги для всіх людей в усьому світі. Дуже легко помітити, що вони слухають музику з різних причин і в різний час. Причина, чому музика відіграє важливу роль у житті людей, полягає в тому, що вона також корисна для фізичного та психічного здоров'я. По-перше, музика також має заспокійливий вплив на фізичне здоров'я. Було проведено дослідження, в якому взяли участь учасники, середній вік яких становив п'ятдесят років, набрані з клініки болю та мануальної терапії в США.

Розділивши їх на дві групи, лікарі заохочували першу щодня слухати улюблену музику, а другу - ні. Наприкінці випробування Сухобокий Алек, один з лікарів, який проводив це дослідження, сказав: "Наш результат показує, що прослуховування музики в стилі muss ICC мало статистично значущий вплив на експериментальну групу, зменшуючи біль, депресію, інвалідність при НС та підвищуючи відчуття сили". "Більш потужним аспектом музики є те, що вона глибоко впливає на психічне здоров'я.

У наш час люди легко піддаються стресу і тиску через природні сили зсередини або ззовні. Музика - це найпопулярніший розважальний спосіб зменшити стрес і подолати тривогу та депресію. Насправді, музика корисна для сприяння сну або розслабленню. Попереднє дослідження професора Гуда і Ху Лінг Ла, опубліковане в 2005 році, показало, що прослуховування кількох хвилин спокійної музики перед сном може покращити сон більш ніж на третину.

Існує багато досліджень і реальних доказів того, що щоденне прослуховування музики дійсно корисне для фізичного і психічного здоров'я. Крім того, існує багато видів музики, таких як поп, рок, класика, блюз, диско... Тому у вас є багато варіантів, щоб вибрати музику, яка вам

найбільше подобається, щоб розслабитися, насолодитися, особливо для практики, якщо ви хотіли б бути музикантом.

Музика може мати різний вплив на людину під час воєнного часу. Особливо в ситуаціях, коли люди перебувають у напруженому середовищі або під великим стресом, музика може бути корисною формою релаксації та відпочинку.

Воєнний час може спричиняти появу психологічних проблем, таких як посттравматичний стресовий розлад (ПТСР) або депресія. Музична терапія, застосована відповідними фахівцями, може бути корисним інструментом для легкого полегшення симптомів і поліпшення психологічного стану.

Тому, актуальним є питання розробки музичного електронного пристрою який може покращувати психологічний стан людей. [1]



## 1 АНАЛІЗ ТА ВИДИ ДАТЧИКІВ

### 1.1 Що таке датчики

Основним елементом у терменвоксі є датчик. Датчики – це пристрої, призначені для вимірювання або спостереження певних фізичних величин або параметрів навколишнього середовища. Вони виявляють зміни в фізичних величинах, таких як температура, тиск, вологість, рух, освітленість та багато інших, і перетворюють їх на електричні сигнали або дані, які можуть бути оброблені електронною системою.

Датчики використовуються в різних галузях, включаючи промисловість, медицину, автомобільну промисловість, інформаційні технології, домашній комфорт і багато інших. Вони можуть бути вбудовані в різні пристрої і системи, включаючи смартфони, автомобілі, побутову техніку, медичне обладнання та багато інших.

Залежно від типу датчика, вони можуть використовувати різні принципи роботи, такі як термічні, оптичні, механічні, електромагнітні тощо. Наприклад, термометр - це датчик, який вимірює температуру, оптичні датчики використовують світло для вимірювання рівня освітленості або виявлення об'єктів, а акселерометр - це датчик, який виявляє рух і використовується, наприклад, у смартфонах для автоповороту екрана при зміні орієнтації пристрою.

Загалом, датчики є важливою складовою частиною сучасних технологій і систем, дозволяючи отримувати реальний час інформацію про навколишнє середовище та забезпечувати автоматизацію і контроль у різних сферах життя. Використання датчиків дозволяє збирати дані,

вимірювати параметри, контролювати процеси і реагувати на зміни оточуючого середовища. [2]

## 1.2 Роль датчиків у житті людей

Датчики в сучасній технології та автоматизації відіграють ключову роль. Вони забезпечують збір інформації про фізичні параметри або стан об'єктів і дозволяють системам аналізувати ці дані для прийняття рішень або виконання певних функцій. Ось кілька обґрунтувань важливості датчиків:

### Збір даних:

Датчики дозволяють збирати різноманітну інформацію з реального світу, таку як температура, вологість, тиск, рух і багато іншого. Ці дані є необхідними для контролю, моніторингу та аналізу в різних галузях, включаючи промисловість, сільське господарство, медицину, транспорт та інші.

### Автоматизація:

Датчики є ключовим компонентом у системах автоматизації, які дозволяють пристроям та системам автоматично реагувати на зміни в оточенні. Наприклад, датчики руху в домашніх системах безпеки можуть виявляти незаконне проникнення та активувати сигнал тривоги.

### Керування процесами:

Датчики використовуються для контролю та регулювання різних процесів. Наприклад, в автомобілях датчики вимірюють параметри, такі як швидкість, температура двигуна, рівень палива тощо, щоб системи керування могли приймати рішення про оптимальні налаштування.

### Безпека:

Датчики використовуються для забезпечення безпеки в різних областях. Наприклад, датчики диму та вуглекислого газу в системах пожежного сповіщення допомагають вчасно виявляти пожежу і відправляти сигнал тривоги.

#### Енергоефективність:

Датчики грають важливу роль у покращенні енергоефективності систем і пристроїв. Наприклад, датчики освітлення в приміщеннях дозволяють автоматично регулювати рівень освітлення залежно від наявності природного світла або присутності людей, що дозволяє зменшити споживання електроенергії.

#### Відстеження та моніторинг:

Датчики використовуються для відстеження та моніторингу різних параметрів та стану систем. Наприклад, датчики тиску в автомобілях дозволяють контролювати тиск у шинах та виявляти будь-які некоректні значення, що сприяє безпеці на дорозі.

#### Діагностика та попередження:

Датчики дозволяють виявляти відхилення від норми і сповіщати про можливі проблеми або несправності. Наприклад, датчики температури в електроніці можуть сповістити про перегрів, що дозволяє уникнути пошкоджень або відключити пристрій для запобігання можливим аваріям.

#### Покращення якості життя:

Датчики використовуються для створення різних інтелектуальних систем, що покращують якість життя людей. Наприклад, датчики здоров'я можуть вимірювати пульс, кров'яний тиск та інші показники, що дозволяє відстежувати стан здоров'я та реагувати на відхилення.

#### Інновації та розвиток:

Використання датчиків стимулює появу нових ідей, досліджень і розробок. Вони дозволяють впроваджувати нові функції та можливості в пристрої, системи або процеси. Наприклад, розробка датчиків

розпізнавання жестів дозволяє взаємодіяти з електронними пристроями без прямого контакту, що відкриває нові можливості для комунікації та управління.

#### Системна інтеграція:

Датчики виконують важливу роль у системній інтеграції. Вони можуть бути інтегровані в різні пристрої та системи, що дозволяє обмінюватися даними та координувати їх роботу. Наприклад, датчики в промисловому устаткуванні можуть зв'язуватися з системою моніторингу та керування для забезпечення оптимальної продуктивності та безпеки.

#### Раціональне використання ресурсів:

Датчики допомагають забезпечувати раціональне використання ресурсів, таких як енергія, вода, матеріали тощо. Вони дозволяють контролювати та оптимізувати споживання ресурсів, що сприяє економії і зменшенню негативного впливу на довкілля.

#### Виявлення аномалій і прогнозування:

Датчики можуть виявляти незвичайні або аномальні зміни в показниках та поведінці системи, що дозволяє вчасно виявляти проблеми або потенційні поломки. Крім того, на основі зібраних даних можна використовувати аналітичні алгоритми для прогнозування та передбачення майбутніх станів і подій.

Загалом, датчики є необхідною складовою сучасного технологічного прогресу. Вони дозволяють отримувати об'єктивну інформацію про навколишнє середовище, об'єкти і процеси, що допомагає забезпечити ефективність, безпеку, якість і зручність в різних сферах життя. Використання датчиків сприяє автоматизації, оптимізації та постійному розвитку технологій і систем. Вони відіграють важливу роль у покращенні якості життя, збереженні ресурсів і створенні нових можливостей для інновацій та прогресу. [3]

### 1.3 Основні принципи дії датчиків

#### Принцип перетворення:

Кожен тип датчика базується на конкретному принципі перетворення фізичної величини в електричний сигнал. Наприклад, терморпари вимірюють температуру на основі явища термоелектричного ефекту, де зміна температури призводить до зміни електричної напруги. П'єзоелектричні датчики використовують п'єзоелектричні кристали, які генерують електричний заряд при прикладанні механічного напруження. Існує багато інших принципів перетворення, які використовуються в різних типах датчиків.

#### Датчик інтерфейсу:

Датчики можуть мати різні інтерфейси для передачі сигналів до приймача. Аналогові датчики видають аналоговий сигнал, що пропорційний вимірюваній величині. Наприклад, температурний датчик з аналоговим виходом може видавати напругу, яка залежить від температура. Цей аналоговий сигнал можна обробити за допомогою аналогових електронних пристроїв, таких як операційні підсилювачі, для отримання кінцевого результату.

Цифрові датчики видають цифровий сигнал, який може бути прочитаний іншими електронними пристроями без необхідності аналогового перетворення. Вони використовують протоколи передачі даних, такі як I2C (Inter-Integrated Circuit) або SPI (Serial Peripheral Interface), для зчитування вимірювань. Цифрові датчики зазвичай мають вбудовані аналогово-цифрові перетворювачі (ADC), які перетворюють аналоговий сигнал у цифрову форму для подальшої обробки.

#### Діапазон вимірювання:

Кожен датчик має обмежений діапазон вимірювання, в межах якого він може надавати точні результати. Наприклад, термометр може мати діапазон від  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ , і будь-яке значення за межами цього діапазону може призвести до неточних результатів або відсутності відповіді. Важливо враховувати діапазон вимірювання при виборі датчика для конкретного застосування.

Точність і повторюваність:

Точність датчика визначає, наскільки близько вимірювання датчика до дійсного значення фізичної величини. Чим вища точність, тим менше відхилення від справжнього значення. Повторюваність вказує на здатність датчика до надання однакових результатів при повторних вимірюваннях в одних і тих самих умовах. Висока точність і повторюваність важливі для забезпечення надійності та стабільності вимірювань.

Калібрування і компенсація:

Деякі датчики потребують калібрування, щоб коригувати будь-які відхилення або неточності у їхніх вимірюваннях. Калібрування включає порівняння вимірювань датчика з відомими посилками або стандартними датчиками і налаштування датчика, щоб забезпечити точні результати.

Деякі датчики також можуть мати можливість компенсації впливу зовнішніх факторів, які можуть впливати на їхню точність. Наприклад, температурний датчик може мати вбудовану компенсацію температури, що дозволяє коригувати вимірювання в залежності від змін температури навколишнього середовища. [4]

## 1.4 Типи датчиків

### Оптичні датчики:

Оптичні датчики використовують світло або інфрачервоне (ІЧ) випромінювання для вимірювання або детекції різних фізичних величин. Вони можуть використовувати фотодіоди, фотоелементи, фотоелектричні датчики або інші компоненти для перетворення світлового сигналу на електричний сигнал. Оптичні датчики застосовуються в багатьох галузях, включаючи автоматизацію, медицину, вимірювальну техніку, спостереження, електроніку та багато інших. Вони можуть вимірювати рівень освітленості, виявляти рух, визначати відстань, контролювати позицію об'єктів тощо.

### Термодатчики:

Термодатчики використовуються для вимірювання температури. Серед найпоширеніших типів термодатчиків є термістори, термопари та терморезистори. Термістори - це резистори, які змінюють свій опір залежно від температури. Термопари складаються з двох різних металевих дротів, які генерують електричний сигнал при зміні температури. Терморезистори - це резистори, опір яких змінюється залежно від температури. Термодатчики використовуються в багатьох пристроях і системах, таких як термостати, системи кондиціонування повітря, промислові процеси контролю, медична техніка та інші додатки, де важливе вимірювання температури.

### Радіодатчики:

Радіодатчики використовують радіохвильове випромінювання для вимірювання, виявлення або передачі сигналів. Вони можуть працювати на різних частотах радіохвиль, включаючи радіочастотні індуктивні датчики та радіочастотні ємнісні датчики. Радіодатчики використовуються в багатьох сферах, включаючи бездротову комунікацію, радіолокацію, безконтактний

контроль, системи безпеки та телекомунікації. Вони можуть вимірювати відстань, швидкість, рівень сигналу, виявляти наявність об'єктів, передавати дані бездротово і багато іншого.

#### Акустичні датчики:

Акустичні датчики використовуються для вимірювання або детекції звукових хвиль або коливань. Вони можуть включати мікрофони, п'єзоелектричні датчики, ультразвукові датчики та інші типи. Акустичні датчики здатні перетворювати звукові сигнали на електричні сигнали, які потім можуть бути оброблені або використані для вимірювань або контролю. Вони застосовуються в таких галузях, як аудіо технології, медицина, наука про матеріали, автомобільна промисловість, музикальні інструменти та інші.

#### Механічні датчики:

Механічні датчики використовуються для вимірювання фізичних величин, пов'язаних з механічними коливаннями або рухом. Вони можуть включати датчики тиску, датчики сили, датчики руху, датчики положення, датчики розтягування, датчики обертання тощо. Механічні датчики перетворюють фізичний параметр, такий як тиск, сила або рух, на вимірювальний сигнал, який може бути використаний для контролю, вимірювання або моніторингу. Вони застосовуються в багатьох галузях, включаючи автомобільну промисловість, виробництво, медицину, робототехніку, авіацію та інші.

#### Хімічні датчики:

Хімічні датчики використовуються для виявлення, вимірювання або моніторингу хімічних речовин або хімічні датчики використовуються для виявлення, вимірювання або моніторингу хімічних речовин або процесів. Вони можуть реагувати на хімічні зміни, які відбуваються в оточуючому середовищі, і генерувати вимірювальні сигнали або сигнали тривоги.



Хімічні датчики можуть бути специфічними для певних речовин, наприклад, газові датчики, що вимірюють концентрацію певного газу, або рН-датчики, що вимірюють кислотність або лужність розчину. Існують також біосенсори, які використовують біологічні елементи, такі як ферменти або антитіла, для виявлення певних біологічних речовин, наприклад, бактерій або біологічних маркерів.

Біологічні датчики:

Біологічні датчики використовуються для вимірювання фізіологічних параметрів або виявлення біологічних процесів. Вони можуть включати пульсометри, глюкометри, датчики кров'яного тиску, сенсори пульсу, датчики електрокардіограми та інші. Біологічні датчики здатні збирати інформацію про функції організму, такі як серцевий ритм, рівень глюкози, артеріальний тиск, активність м'язів тощо. Вони застосовуються в медицині, спортивних технологіях, фітнесі, біофізіології та інших областях, де моніторинг фізіологічних параметрів має важливе значення.

Гіроскопи і акселерометри:

Гіроскопи і акселерометри - це типи датчиків, які використовуються для вимірювання руху або орієнтації об'єкта в просторі. Гіроскопи вимірюють кутову швидкість або кутове прискорення об'єкта, тоді як акселерометри вимірюють лінійне прискорення або силу гравітації, що діє на об'єкт. Ці датчики широко використовуються в навігаційних системах, робототехніці, віртуальній реальності, мобільних пристроях та автомобільній промисловості. Вони дозволяють визначити орієнтацію, виміряти кут нахилу, виявляти рух та забезпечувати стабілізацію об'єктів.

Геолокаційні датчики:

Геолокаційні датчики використовуються для визначення географічного положення об'єкта. Ці датчики можуть включати GPS (Global Positioning System), ГЛОНАСС (Глобальна навігаційна супутникова система), Галілео, Бідусі і інші системи навігації. Геолокаційні датчики

отримують сигнали від супутників та обробляють їх для визначення точного місцезнаходження об'єкта на земній поверхні. Вони використовуються в навігаційних системах, автомобільній промисловості, мобільних пристроях, картографії, геодезії та інших галузях, де важливо знати місцеположення об'єкта з високою точністю.

Вологостійкі датчики, Ці датчики використовуються для вимірювання та контролю вологості в різних застосуваннях, можуть використовувати різні принципи вимірювання, такі як ємнісний, опірний, резистивний, п'єзоелектричний або оптичний. Їхній принцип роботи полягає в тому, що при зміні рівня вологості змінюється певний параметр, який датчик виявляє і перетворює на вимірювальний сигнал.

Вологостійкі датчики можуть бути спеціально розроблені для певних умов і середовищ, таких як агресивні хімічні речовини, висока температура, екстремальні умови тощо. Це дозволяє їм працювати надійно і точно в різних застосуваннях, де вологість є важливим параметром для контролю та моніторингу. [5]

## 1.5 Класифікація датчиків

За типом сприйманої фізичної величини:

- ◆ Температурні датчики
- ◆ Вологості датчики
- ◆ Датчики тиску
- ◆ Датчики рівня
- ◆ Датчики руху
- ◆ Датчики освітленості
- ◆ Датчики звуку

- ◆ Датчики вібрації
- ◆ Датчики газу
- ◆ Датчики сили
- ◆ Датчики магнітного поля
- ◆ Датчики та мікрофони електромагнітного випромінювання

За принципом роботи:

- ◆ Опірні датчики
- ◆ П'єзоелектричні датчики
- ◆ Ємнісні датчики
- ◆ Оптичні датчики
- ◆ Акустичні датчики
- ◆ Магнітні датчики
- ◆ Ультразвукові датчики
- ◆ Інфрачервоні датчики
- ◆ Радіочастотні датчики

За застосуванням:

- ◆ Автомобільні датчики
- ◆ Медичні датчики
- ◆ Промислові датчики
- ◆ Системи безпеки та відеоспостереження
- ◆ Датчики домашнього автоматизованого управління
- ◆ Сенсори смартфонів та планшетів
- ◆ Датчики кліматичних умов та екології

За засобом комунікації:

- ◆ Аналогові датчики
- ◆ Цифрові датчики

- ◆ Бездротові датчики (наприклад, Bluetooth або Wi-Fi)

За місцем встановлення:

- ◆ Вбудовані датчики (встановлені безпосередньо в пристрій)
- ◆ Зовнішні датчики (розташовані поза пристроєм і підключені до нього)

За характером вимірюваної величини:

- ◆ Датчики аналогової величини (наприклад, напруги або струму)
- ◆ Датчики цифрової величини (наприклад, дискретні значення)

За точністю вимірювання:

- ◆ Високоточні датчики
- ◆ Стандартні датчики
- ◆ Датчики зі зниженою точністю

За місцезнаходженням датчика:

- ◆ Внутрішні датчики (знаходяться всередині контрольованої системи)
- ◆ Зовнішні датчики (розташовані зовні контрольованої системи)

За діапазоном вимірювання:

- ◆ Датчики низького діапазону вимірювання
- ◆ Датчики середнього діапазону вимірювання
- ◆ Датчики високого діапазону вимірювання

За типом живлення:

- ◆ Активні датчики (мають власне джерело живлення)

- ◆ Пасивні датчики (живляться з контрольованої системи або зовнішнього джерела)

За технологією виготовлення:

- ◆ П'єзорезистивні датчики
- ◆ Датчики на основі MEMS-технологій
- ◆ Фіброоптичні датчики
- ◆ Полімерні датчики

За вимогами до середовища:

- ◆ Датчики для роботи в агресивних середовищах
- ◆ Датчики для роботи в ультравакуумі
- ◆ Датчики для роботи в екстремальних температурах [6]

## 1.6 Принципи точності датчиків

Точність датчиків залежить від кількох факторів, які включають:

Похибка зміщення:

Це різниця між вимірним значенням датчиком та дійсним значенням змірюваного параметра. Похибка зміщення може бути систематичною або випадковою. Систематична похибка зміщення виникає через некоректне налаштування або некориговану залежність від зовнішніх факторів. Випадкова похибка зміщення виникає через випадкові фактори, такі як шум.

Похибка лінійності:

Це відхилення від ідеальної лінійної залежності між вимірюванням датчика і змінним параметром. Похибка лінійності може бути викликана нелінійністю відповіді датчика, неоднаковістю характеристик різних

діапазонів вимірювання або зміною параметрів залежно від умов експлуатації.

Похибка шуму:

Шум впливає на точність датчиків шляхом додаткових непередбачуваних коливань сигналу. Шум може бути викликаний електромагнітними перешкодами, тепловими флуктуаціями або внутрішніми електричними процесами в самому датчику. Похибка шуму зменшує точність вимірювань і може бути контрольована за допомогою фільтрації сигналу та використанням шумозахисних методів. [7]

### 1.7 Калібрування датчиків

Калібрування датчиків є процедурою налаштування та корекції, яка забезпечує точність їхніх вимірювань. Основні кроки калібрування включають:

Еталони:

Використовуються стандартні еталони з відомими значеннями для порівняння результатів датчика. Це можуть бути калібровані датчики або вимірювальні прилади з високою точністю.

Збір даних:

Датчик знаходиться в умовах, для яких проводиться калібрування, і збирається набір вимірювань. Ці дані будуть використані для порівняння з еталонними значеннями.

Обробка даних:

Здійснюється аналіз зібраних даних, включаючи виміряні значення датчика та відповідні еталонні значення. Використовуються методи

статистичного аналізу та корекції для визначення похибок та виправлення результатів.

#### Корекція:

На основі аналізу даних проводяться корекції, щоб підвищити точність датчика. Це може включати зміну налаштувань, компенсацію систематичних похибок або виправлення лінійності.

Процес калібрування датчиків також може стикатися з деякими викликами:

#### Умови калібрування:

Ефективне калібрування вимагає забезпечення умов, які максимально наближені до умов реального застосування датчика. Наприклад, у разі калібрування температурного датчика важливо забезпечити стабільні температурні умови.

#### Регулярність калібрування:

Датчики можуть відхилятися з часом, тому регулярне проведення процедури калібрування є важливим. Варто враховувати фактори, які можуть впливати на точність датчика, такі як знос матеріалів, старіння компонентів або вплив зовнішнього середовища.

#### Вимоги до обладнання:

Для калібрування датчиків можуть знадобитися спеціальне обладнання, еталони та вимірювальні прилади з високою точністю. Забезпечення доступності та належного обладнання може бути викликом, особливо для деяких спеціалізованих датчиків.

#### Вартість та час:

Калібрування датчиків може вимагати значних витрат, як вартості обладнання, так і часу. Залежно від кількості датчиків та потреби в регулярному калібруванні, можуть виникати виклики з точки зору фінансових ресурсів та затрати на персонал для проведення калібрування.

Оптимізація вартості та ефективного використання ресурсів може бути викликом при впровадженні процедури калібрування.

Сертифікація та стандартизація:

У деяких випадках можуть існувати вимоги до сертифікації та стандартизації калібрування датчиків, особливо в регульованих галузях, де точність є критичним фактором. Виконання цих вимог може вимагати додаткових ресурсів та зусиль. [8]

## 1.8 Екологічні аспекти датчиків

Ключові екологічні аспекти, які можуть бути враховані:

Енергоефективність:

Датчики повинні бути спроектовані таким чином, щоб споживали якнайменше енергії під час своєї роботи. Це може включати використання низькопотужних компонентів, оптимізацію алгоритмів роботи та використання енергозберігаючих режимів. Енергоефективні датчики сприяють зменшенню споживання електроенергії та зменшенню навантаження на джерела живлення.

Матеріали та виробництво:

При виробництві датчиків необхідно враховувати використання екологічно чистих матеріалів, зменшення використання шкідливих речовин та забезпечення безпечних умов роботи для працівників. Раціональне використання ресурсів та уникнення відходів також є важливими аспектами.

Життєвий цикл та утилізація:

При проектуванні датчиків слід враховувати їхній життєвий цикл, включаючи етапи виробництва, використання та утилізації. Застосування принципів "зеленого дизайну" дозволяє мінімізувати вплив на навколишнє



середовище та забезпечити можливість переробки та утилізації після закінчення життєвого циклу датчиків.

Вплив на природу:

Деякі датчики мають потенційний негативний вплив на природу через використання шкідливих речовин або виділення забруднюючих речовин. Важливо розглянути альтернативні варіанти, які не мають такого впливу або мають мінімальний негативний вплив на довкілля.

Рециклінг та вторинна переробка:

При використанні та утилізації датчиків важливо враховувати можливість їх рециклінгу та вторинної переробки. Це допоможе зменшити відходи та максимально використовувати ресурси. Розробка датчиків з матеріалів, які можна легко рецикувати, може бути одним з рішень.

Водостійкість та стійкість до впливу навколишнього середовища: Датчики, які використовуються у зовнішніх умовах або в умовах з високою вологістю, повинні бути водостійкими та стійкими до впливу навколишнього середовища. Це допоможе забезпечити тривалий термін служби датчика та запобігти негативному впливу на природу внаслідок пошкоджень або несправностей.

Моніторинг екологічних параметрів:

Датчики можуть використовуватися для моніторингу екологічних параметрів, таких як якість повітря, рівень шуму, вимірювання води та інші. Це допомагає контролювати та оцінювати впливання на довкілля та приймати необхідні заходи для збереження природних ресурсів і здоров'я людей. Моніторинг екологічних параметрів може сприяти розумінню впливу людської діяльності на довкілля і сприяти розробці ефективних стратегій екологічного управління.

Інтеграція з екологічними системами: Датчики можуть бути інтегровані з екологічними системами для стеження за екологічними процесами та забезпечення раннього виявлення екологічних проблем.

Наприклад, датчики води можуть використовуватися для виявлення забруднень або змін у рівні води в річках та озерах. Це дозволяє швидко реагувати на екологічні проблеми і приймати заходи для їх вирішення.

Екологічно свідомі датчики:

Розробка екологічно свідомих датчиків передбачає використання нових технологій та матеріалів, які мають мінімальний вплив на навколишнє середовище. Наприклад, використання біорозкладаючих матеріалів або низькоенергетичних технологій може сприяти зменшенню впливу на довкілля.

Екологічні вимоги та стандарти:

Важливо встановлювати екологічні вимоги та стандарти для виробництва, використання та утилізації датчиків. Це допомагає забезпечити відповідність датчиків екологічним нормам і вимогам і забезпечити сталість та ефективність їхнього використання.

Аналіз датчиків показав що більш оптимальним є вибір датчика оптичного типу, тому метою роботи і була розробка приладу на базі інфрачервоного датчика. [9]



Рисунок 1.1 - Оптичний датчик

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- ◆ розробити структурну схему і алгоритм функціонування терменвоксу;
- ◆ провести розрахунок елементів схеми і вибір елементної бази;

- ◆ розробити схему електричну принципову пристрою;
- ◆ провести конструктивний розрахунок і розробити технологічний маршрут виготовлення пристрою.

## 2 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО МУЗИЧНОГО ПРИЛАДУ

### 2.1 Принципи дії терменвоксу та особливості його використання

Основний принцип дії терменвоксу полягає в тому, що музикант рухає руками над датчиками, що знаходяться над платою, і тим самим керує звуком. Датчики вимірюють відстань між рукою музиканта та датчиком, що дозволяє визначати положення руки в просторі. Ця інформація передається до електронного процесора, який змінює характеристики звуку в залежності від положення руки.

Що стосується особливостей використання терменвоксу, то цей інструмент досить вимогливий до майстерності музиканта. Для того, щоб грати на терменвоксі, потрібно мати відмінну координацію рухів та бути в змозі контролювати найдрібніші зміни відстані до антен. Також варто зазначити, що терменвокс має досить складний звуковий спектр, тому що він може генерувати досить складні характеристики та тембри звуку.

Використання терменвоксу є популярним у класичній музиці, а також у сучасній електронній музиці. Цей інструмент використовується також у звуковому дизайні для створення ефектів звуку в кіно, театрі та телебаченні.

Терменвокс має також деякі обмеження, зокрема, він може бути досить вразливим до зовнішніх електромагнітних перешкод, що може призводити до непередбачуваних змін в звуці.

Узагалі, терменвокс є дуже цікавим інструментом з унікальним звуковим характером, який привертає увагу як музикантів, так і слухачів. Він є досить складним у використанні, але при правильному володінні може

стати дуже потужним інструментом для творчого виразу та експериментацій у музиці. [10]

## 2.2 Електронні компоненти

Електронні компоненти є основними будівельними блоками будь-якої електронної пристроїв, таких як комп'ютери, телефони, телевізори, радіоприймачі, тощо. Вони включають в себе різні електронні елементи, такі як резистори, конденсатори, діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми тощо. Кожен з цих компонентів відповідає за певну функцію в електронному пристрої, і їх правильне підключення та налаштування гарантує правильну роботу пристрою в цілому.

Наприклад, резистори використовуються для обмеження струму в електричному колі, конденсатори - для збереження електричної енергії та фільтрації сигналів, діоди - для випрямлення сигналів та транзистори - для підсилення сигналів та керування ними. Інтегральні мікросхеми, в свою чергу, включають в себе багато елементів та можуть забезпечувати більш складні функції, такі як обробка даних, керування роботами та автоматизовані системи.

Важливою складовою будь-якого електронного пристрою є досконалість і надійність електронних компонентів. Це досягається завдяки ретельному контролю якості при їх виробництві, випробуванню та сертифікації.

У зв'язку з постійним розвитком технологій, електронні компоненти постійно покращуються і зменшуються в розмірі, що дозволяє створювати більш компактні та потужні електронні пристрої.

Одним з головних викликів, які стоять перед виробниками електронних компонентів, є збільшення продуктивності та зменшення енергоспоживання електронних пристроїв. Це можна досягти за допомогою використання новітніх матеріалів та технологій виробництва, таких як технологія "нано" та "мікро" обробки.

Наприклад, на початку 2020 року було оголошено про розробку найменшого транзистора в світі, який має розміри всього 1 нанометр. Це стало можливим завдяки використанню нових матеріалів та технологій виробництва, що дозволяють створювати більш точні та ефективні електронні компоненти.

Окрім того, виробники електронних компонентів постійно працюють над покращенням характеристик таких елементів, як швидкість реакції, точність та міцність. Наприклад, останні роки були показані значні покращення в області транзисторів, які мають вищу швидкість реакції та менше споживання енергії. [11]

### 2.3 Розробка структурної схеми та алгоритму функціонування пристрою

Під час проектування пристрою необхідно розробити структурну схему та алгоритм його функціонування. Структурна схема електричного пристрою визначає загальну композицію та організацію зв'язків між його функціональними компонентами та надає повну уяву про спосіб роботи пристрою, який ми розробляємо.

Під час створення структурної схеми важливо керуватися принципами системного підходу. Для даного проекту ці принципи можна сформулювати такими:

- ◆ Розбити загальну задачу проектування на окремі функціональні завдання.
- ◆ Пристрій, який ми проектуємо, розглядається як сукупність функціональних компонентів та процесів, які взаємодіють між собою та мають певну ціль.
- ◆ Пристрій розглядається як ієрархічна система, яку можна описати на різних рівнях деталізації. Рівень деталізації повинен бути достатнім для розкриття процесів, що відбуваються у пристрої.

Перший етап проектування пристрою полягає у розробці структурної схеми. Ця схема визначає загальну композицію та організацію зв'язків між функціональними компонентами і надає повну уяву про роботу пристрою.

[12]

Алгоритм функціонування пристрою приведений на рисунку 2.1

Структурна схема складається з таких блоків:

- ◆ Датчик
- ◆ Дільник
- ◆ Лічильник
- ◆ Таймер
- ◆ Мікропроцесор
- ◆ Дешифратор
- ◆ Вихідний ланцюг

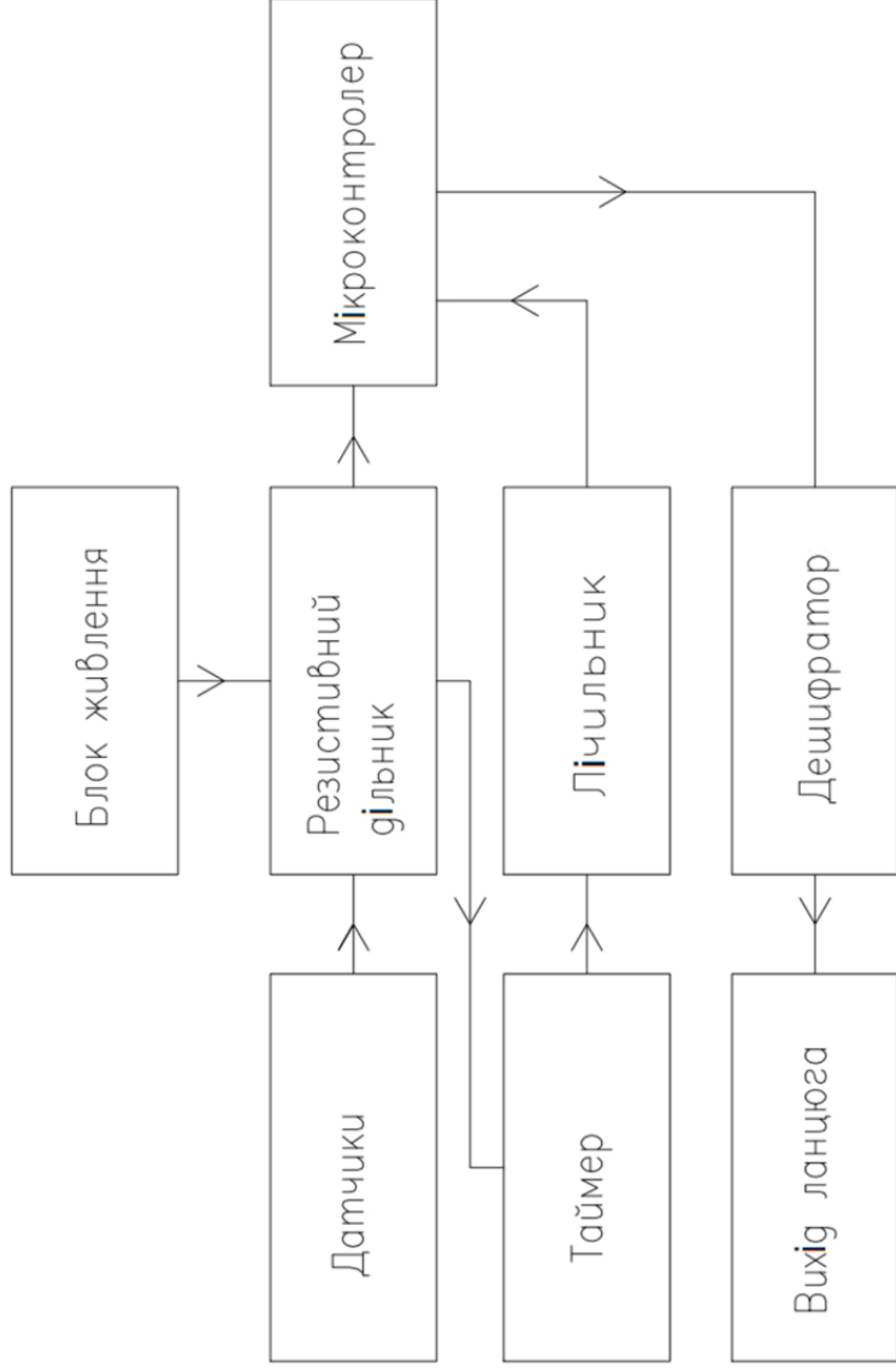


Рисунок 2.1 – Алгоритм функціонування приладу терменвокс без “антенн”



## 2.4 Виріб та обґрунтування схеми електричної принципової

Інструмент відтворює ноти кількох октав. Як і в класичному терменвоксі, один датчик (з великим максимальним вимірюваним відстанню) задає висоту тону формованого звуку, другий - його гучність. Сигнали датчиків обробляє і перетворює в звуковий сигнал мікроконтролер.

Схема терменвокса виконана на мікроконтролері ATmega16-16PU, тактова частота якого (16 МГц) стабілізована кварцовим резонатором  $ZQ_1$ . Тому частоти нот мають високу стабільність. Блок живлення і вихідний підсилювач на схемі не показані.

Датчики  $B_1$  і  $B_2$  підключають до роз'ємів  $X_1$  і  $X_2$  двома трьохпровідний гнучкими кабелями довжиною близько 0,5 м з дроту МГТФ. Їх сигнали надходять відповідно на входи  $ADC_6$  і  $ADC_7$  мікроконтролера (це входи каналів його АЦП). Форма вихідного сигналу задана в програмі масивом, що містить 64 константи - відліки миттєвих значень сигналу в одному його періоді. Частоту вибірки відліків з масиву (в 64 рази більшу заданої частоти вихідного сигналу) задає шестнадцятиразрядний таймер  $T_1$ . Він працює в режимі CTC і генерує запити переривання з періодом, заданим числом, завантаженим в його регістр OCR1A.

Залежно від виміряного датчиком  $B_2$  відстані до руки виконавця програма обчислює індекс елемента масиву  $a_{\text{Chastota}}$ , що містить потрібне для завантаження в регістр OCR1A число. За перериванням від таймера програма виводить в порт 3 чергові миттєві значення формованого сигналу.

Керують інструментом двома руками. Правою рукою задають тон звуку, лівої - його гучність. Ось зони чутливості датчика  $B_1$  повинна бути спрямована вліво-вгору від виконавця, а вісь зони чутливості датчика  $B_2$  - вправо-вгору. Нахили осей особливого значення не мають, потрібно лише

простежити, щоб при русі руки не потрапляли в зони чутливості «чужих» датчиків. Для зручності обидві осі повинні бути нахилені однаково відносно горизонтальної площини.

Електронний блок інструменту зібраний на макетній платі проводимим монтажем і вбудований в один з експонатів музею (макет робота). У ньому застосовані резистори ОМЛТ-0125, конденсатори КМ<sub>5</sub>. Замість мікроконтролера, зазначеного на схемі, можна використовувати АТmega8535 або АТmega32 без зміни схеми, але для цього потрібно перетрансліровать програму під застосований мікроконтролер. ОУ КР140УД8А можна замінити іншим, наприклад, К544УД2 або імпортом з граничною швидкістю наростання вихідної напруги не менше 2 В / мкс. Підсилювачі з меншим швидкодією спотворюють високочастотні сигнали.

Замість К140УД14А можна застосувати інший ОУ з низьким споживанням. Амплітуда вихідного сигналу змінюється повільно, в такт рухам руки, і швидкодія підсилювача тут не критично. Якщо застосувати ОУ з великим споживанням, напруга їх харчування може "просісти". Наприклад, при використанні двох ОУ КР140УД8А із загальним споживанням 10 мА від мікросхеми MAX232CPE будуть отримані напруги +7,5 В і -6 В [7].

Програма для мікроконтролера написана на мові С в середовищі WinAVR (AVR Toolchain), що входить до складу IDE AVR Studio v4.19.

Прилад має ряд недоліків - спотворення форми сигналу через малою числа відліків на період, недостатній діапазон відтворюваних нот, пропуски в таблиці частот. Щоб усунути їх, потрібно застосувати більш продуктивний мікроконтролер і АЦП більшої розрядності. Все це має сенс при розробці інструменту для серйозного застосування. [13]

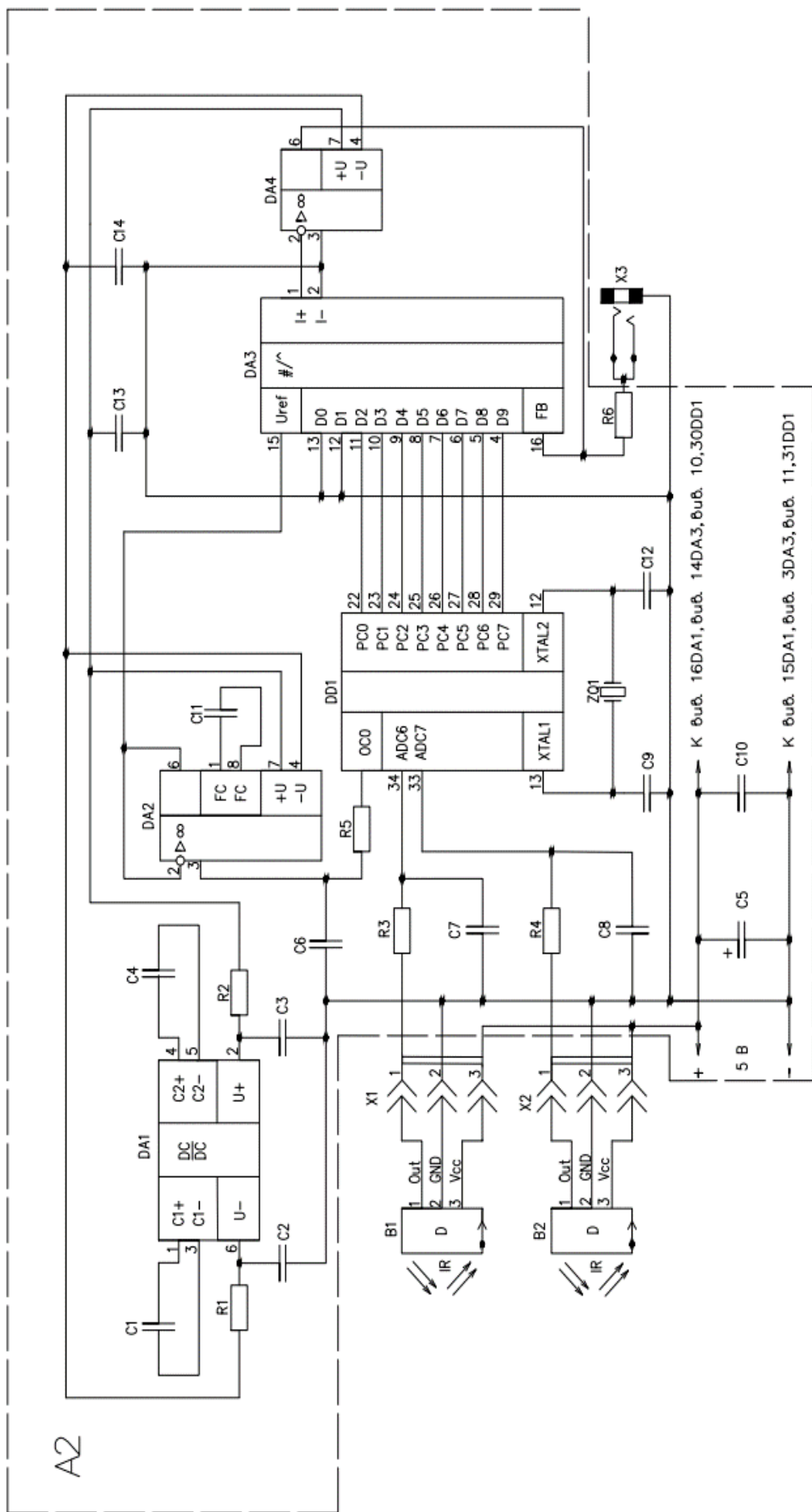


Рисунок 2.2 - Схема електрична принципова

## 2.5 Розрахунок ланцюга RC

Під час розробки принципової схеми "Терменвокс без "антенн"" необхідно здійснити розрахунок параметрів RC-ланцюга. Проводимо розрахунок для параметрів ланцюга  $C_7$   $C_3$ . Цей ланцюг виконує функцію RC-фільтра, який запобігає надходженню високочастотних завад на вхід мікроконтролера. Довжина імпульсу.  $T = 1,1 \times R_3 \times C_7$

$$\tau = \frac{1}{f}$$

де:  $\tau$ -період сигналу на виході генератора

$f$ -частота спектру сигналу на вході МК, 5кГц

$$\tau = R_3 \times C_7 = \frac{1}{f}$$

де:  $R_3$  – опір резистору;

$C_7$ - ємність конденсатору.

Ємність конденсатору знаходимо із умови, що

$$f_0 = 5 \times 10 - \frac{1}{C\tau} = (9\text{пФ} \dots 500\text{мкФ})$$

$$C\tau = C_7 = 5 \times 10 - \times 10^6 = 1 \times 10^{-7}(\text{Ф}) = 0,1(\text{мкФ})$$

Якщо задаємося ємністю конденсатора  $C_7 = 0,1\text{мкФ}$  та розраховуємо опір резистора  $R_1$ :

$$R_3 \times C_7 = \frac{1}{f} 2 \times 10^{-1}$$

$$R_1 = 2 \times \frac{10^{-1}}{1} \times 10^{-7} = 2,2 \times 10^{-8}(\text{Ом})$$

Обираємо резистор  $R_1$  опором 22 кОм. Таким чином, перевіряємо період сигналу на виході ланцюга:

$$R_1 \times C_1 = 22 \times 10^6 \times 1 \times 10^{-7} = 2 \times 10^{-1} \text{ сек. [14]}$$

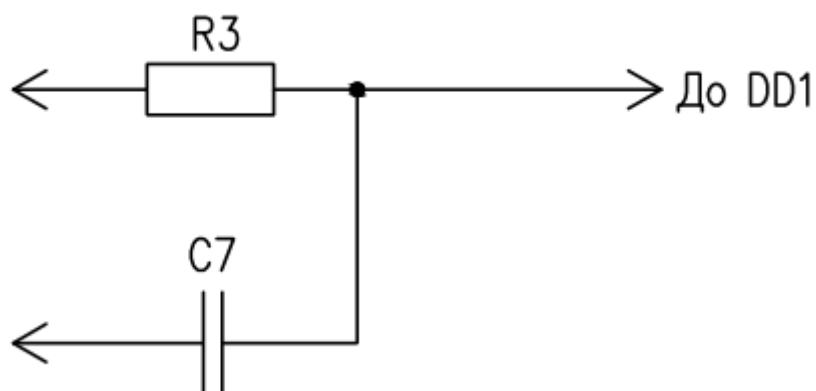


Рисунок 2.3 – Схема диференційного ланцюга  $R_3 C_7$

## 2.6 Конструктивний розрахунок

На цьому етапі виконання роботи необхідно дотримуватись наступної послідовності:

- 1) обрати тип друкованої плати;
- 2) визначити клас точності;
- 3) обрати матеріал для основи плати ;
- 4) відшукати раціональне розташування елементів на платі;
- 5) визначити конфігурацію та габаритні розміри друкованої плати;
- 6) визначити розмір елементів малюнку;
- 7) провести трасування;
- 8) виконати необхідні технологічні розрахунки.

Під час топологічного проектування друкованої плати основою є електрична принципова схема пристрою. На першому етапі конструювання вибирається тип і розмір друкованої плати. Товщина плати вибирається з припустимих значень і приймається 1,5 мм. Площа друкованої плати розрахована з урахуванням площини кожного елемента та становить 6,955 мм<sup>2</sup>.

В якості матеріалу друкованої плати використовується склотекстоліт СФ-Н1-50-1,5, який має невелику схильність до короблення.

Приймається одностороння плата першого класу точності з виготовленням електрогальванічним методом.

Товщина провідного шару друкованого провідника приймається  $h_{\phi} = 35$  мкм з урахуванням рекомендованих значень для обраного класу точності. З цими значеннями визначається робоча напруга  $U_p = 100$  В, граничний струм  $I_{гр} = 2600$  мА та погонний опір - 1,1 МОм/мм.

При топологічному проектуванні розробляється рисунок друкованої плати, включаючи розміщення радіоелементів та трасування з'єднань між контактними площадками. Крок координатної сітки визначається як 2,5 мм, а допуски на відстань між отворами для кріплення елементів приймаються  $\pm 0,2$  мм. Усі радіоелементи розташовуються з однієї сторони плати для зручності пайки "хвилею припою". Розрахунок розмірів провідного малюнка включає визначення діаметрів отворів для монтажу, діаметра контактних площадок і ширини провідників, а також мінімальної відстані між елементами малюнка.

Розрахунок розмірів провідного малюнка печатної плати повинний включати розрахунки:

- ◆ діаметрів монтажних не металізованих і металізованих отворів;
- ◆ діаметра контактних площадок і ширини провідників;
- ◆ мінімальної відстані між елементами провідного малюнка.

Так само розраховується електричні параметри печатної плати:

- ◆ значення паразитної ємності між двома провідниками;
- ◆ взаємоіндукції між друкованими провідниками;
- ◆ падіння напруги в провідниках;
- ◆ потужності втрат.

Трасування полягає в з'єднанні контактів елементів, розташованих на платі, з урахуванням обмежень щодо перетинання провідників і метричних обмежень, пов'язаних з обмеженим простором та розмірами з'єднань.

Згідно з стандартом виконуємо наступні розрахунки:

- ◆ діаметр монтажних отворів;
- ◆ діаметр контактних площадок;
- ◆ мінімальна ширина провідника;
- ◆ максимальна ширина провідника.

Розрахунок діаметра монтажних отворів проведемо по формулі:

$$d_M = d_{Vi} + (0,2 \div 0,4)$$

де  $d_M$  - діаметр монтажних отворів, мм;

$d_{Vi}$  - діаметр виводу елемента, мм.

Проведемо розрахунок діаметрів отворів для окремих елементів схеми, починаючи з інтегральних мікросхем. Оскільки товщина виводів інтегральних мікросхем однакова, ми будемо розраховувати діаметри

отворів для всіх мікросхем разом. Згідно з довідковими даними діаметр виводу мікросхем:  $d_{\text{в1}}=0,6$  мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{\text{м1}} = 0,6 + (0,2 \div 0,4) = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору  $d_{\text{м1}} = 1,1$  мм.

Далі розрахуємо діаметр отвору під резистори. Згідно з довідковими даними в схемі резистори мають діаметр виводу  $d_{\text{в2}} = 0,6$  мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{\text{м2}} = d_{\text{в1}} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору  $d_{\text{м2}} = 1,1$  мм

Далі розрахуємо діаметр отвору під конденсатори. Згідно з довідковими даними діаметр виводу конденсатору  $d_{\text{в4}} = 0,6$  мм . Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{\text{м4}} = d_{\text{в4}} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору з вище приведенного ряду  $d_{\text{м4}} = 1,1$  мм.

Далі розрахуємо діаметр отвору під діоди. Згідно з довідковими даними діаметр виводу діода  $d_{\text{в5}} = 0,6$  мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{\text{м5}} = d_{\text{в5}} + (0,2 \div 0,4) = 0,7 + 0,5 = 1,2 \text{ мм}$$



Приймаємо стандартне значення отвору з вище приведенного ряду  
 $d_{м5} = 1,2$  мм.

Тепер проведемо розрахунок діаметру отвору під транзистори. Згідно з довідковими даними в схемі транзистор мають діаметр отвору  $d_{в6} = 0,6$  мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{м6} = d_{в6} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Розрахунок діаметра контактних площадок проведемо по формулі (при виготовленні отворів свердленням):

$$D_{к min} = \sqrt{1,28 \times \text{ПО} + d_{max}^2}$$

де  $D_{к min}$  - діаметр контактної площадки, мм;

$d_{max}$  - діаметр металізованого отвору, мм;

ПО – мінімальна площа контактної площадки, дорівнює  $2,5 \text{ мм}^2$

Розрахуємо діаметр контактної площадки для мікросхеми:

$$D_{к min} = \sqrt{1,28 \times 2,5 + 1,1^2} = 2,07 \text{ мм}$$

Для розрахунку контактної площадки під конденсатори, резистори та транзистори приймається формула:

$$D_{к min} = \sqrt{1,28 \times 2,5 + 1,2^2} = 2,09 \text{ мм}$$

Розрахунки параметрів елементів друкованої плати: Розрахунок мінімальної ширини провідника проведемо по формулі:

$$b_{min} = b_{зад} + 1,5 \times h_{\phi}$$

де  $b_{min}$  - мінімальна ширина провідника, мм;

$b_{зад}$  - задана ширина провідника, мм;

$h_{\phi}$  - середня товщина провідника, мм.

$$b_{min} = 0,6 + 1,5 \times 0,035 = 0,653 \text{ мм}$$

Розрахунок максимальної ширини провідника проведемо по формулі:

$$b_{max} = b_{min} + C_{1в}$$

де  $b_{max}$  - максимальна ширина провідника, мм;

$b_{min}$  - мінімальна ширина провідника, мм.

$C_{1в}$  приймаємо 0,12 мм для першого класу точності.

$$b_{max} = 0,653 + 0,12 = 0,773 \text{ мм}$$

Приймаємо  $b_{max} = 1 \text{ мм}$ ,  $b_{min} = 0,6 \text{ мм}$ .

Паразитна ємність  $C_{пар}$  між двома друкованими печатними провідниками визначається за формулою:

$$C_{пар} = C_{пог} + I_n$$

де  $C_{\text{пог}}$  - погонна ємність провідника, пФ/см;

$l_n$  - довжина провідника, см.

$$C_{\text{пог}} = K_n \times \varepsilon$$

де  $K_n$  - погонний коефіцієнт;

$\varepsilon$  - діелектрична проникність.

Для провідників однакової ширини  $b = 1$  мм і відстані між ними  $S = 1,5$  мм погонний коефіцієнт  $K_n = 0,14$ :

$$C_{\text{пог}} = 0,14 \times 6 = 0,84 \text{ пФ/см}$$

$$\text{Тоді } C_{\text{пар}} = 0,84 + 18 = 15,12 \text{ пФ}$$

$$\text{При } b = 0,6 \text{ мм } K_n = 0,1$$

$$C_{\text{пар}} = 0,1 \times 6 \times 18 = 10,8 \text{ пФ}$$

Таким чином, паразитна ємність менше припустимої. Паразитна взаємоіндукція між друкованими провідниками характеризується коефіцієнтом взаємоіндукції  $M$ , обумовленої по формулі:

$$M = 2 \times I_n \times \left( l_n \frac{2 \times I_n}{S + 0,5(t_1 + t_2)} \right)$$

де  $t_1, t_2$  - ширина провідника першого і другого відповідно

$$M = 2 \times 18 \times l_n \frac{2 \times 18}{1,5 + 0,5(1 + 1)} = 96 \text{ мГн}$$

Індуктивність друкованого провідника визначається згідно:

$$L = L_{\text{пог}} \times I_n$$

де для провідника шириною  $b=1\text{мм}$  погонна індуктивність:

$$L_{\text{пог}} = 0,0135 \text{ мкГн/см}$$

$$L = 0,0135 \times 18 = 0,243 \text{ мкГн}$$

Визначається потужність витрат друкованої плати згідно:

$$P_n = 2 \times \pi \times f \times C \times U^2 \times \text{tg}\delta$$

де  $f$  - частота напруги схеми, при постійному струмі живлення, Гц;

$U$  - напруга живлення схеми, В;

$\text{tg}\delta$  - тангенс кута діелектричних втрат;

$C$  – ємність друкованої плати, мкФ, що розраховується по формулі:

$$C = 0,009 \times \varepsilon \times \frac{F}{H_M}$$

де  $F$  – сумарна площа друкованих провідників,  $\text{мм}^2$ ;

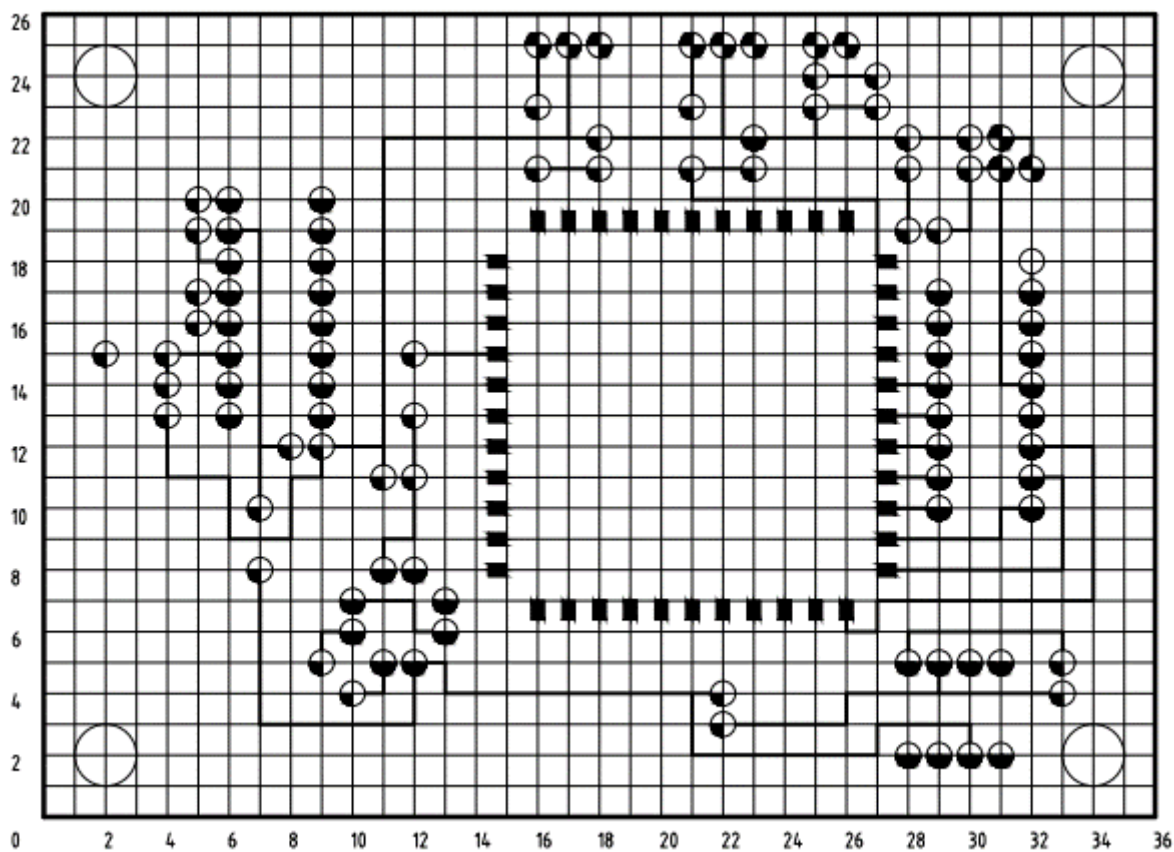
$H_M$  – товщина плати, мм.

$$C = 0,009 \times 6 \times \frac{2000}{1,5} = 72 \text{ мкФ}$$

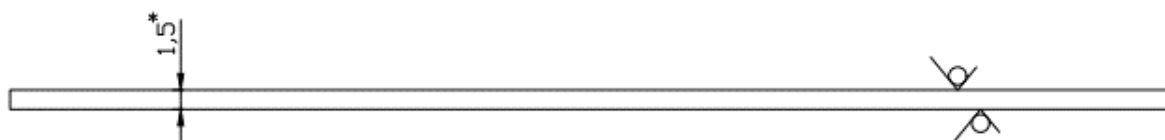
$$P_n = 2 \times 3,14 \times 50 \times 72 \times 12^2 \times 10^{-6} = 203,47 \times 10^{-6} \text{ Вт}$$

Таким чином, втрати потужності несуттєві.

Розроблена топологія друкованої плати представлена на  
рисунок 2.4-2.5.



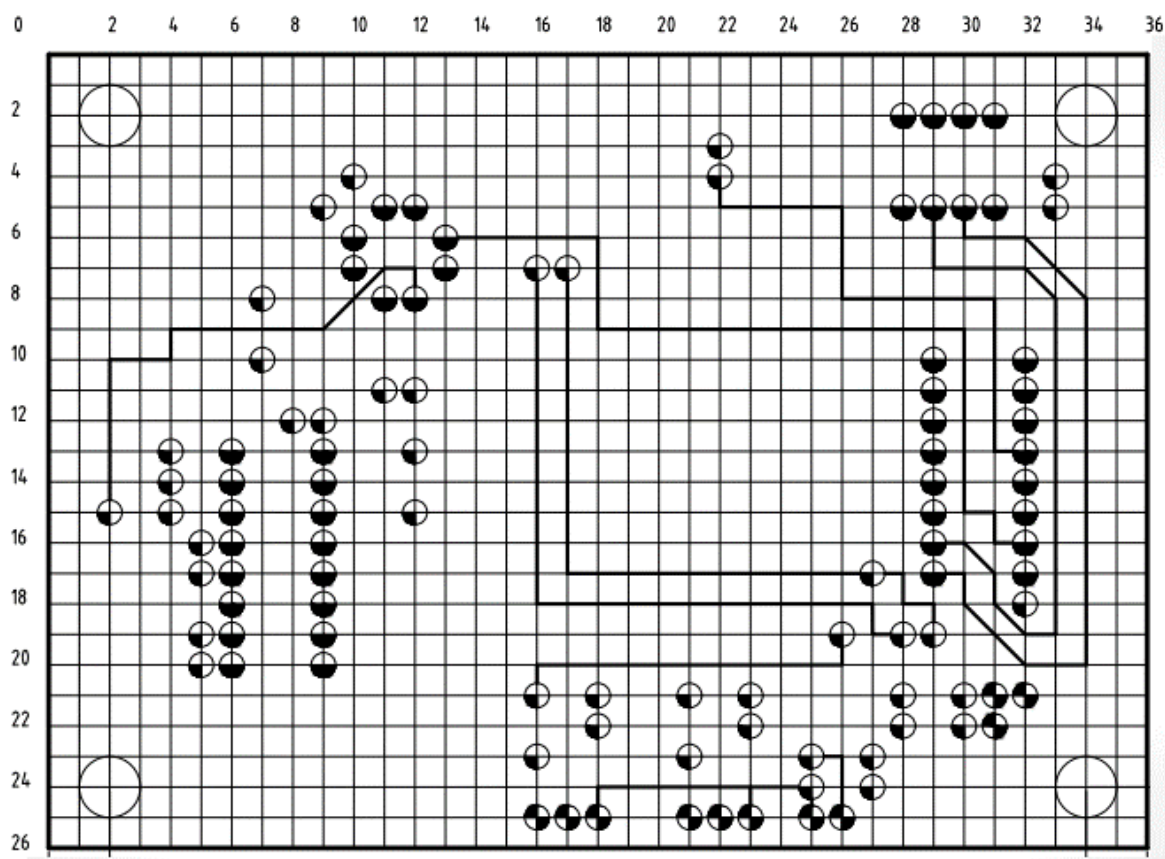
(a)



(б)

:а - передня сторона, б – товщина тектоліту

Рисунок 2.4 - Топологія друкованої плати



(В)

в – зворотня сторона

Рисунок 2.5 -Топологія друкованої плати

## 2.7 Організація електричного живлення

Проводимо розрахунок вирівнювача, працюючого на ємностне навантаження. Вихідні данні: вирівняна напруга у навантаженні  $U_{0h} = 5\text{В}$  ; вирівняний струм у навантаженні  $I_0 = 0,2\text{А}$  ; коефіцієнт пульсації вирівняної напруги на навантаженні  $K_{п.н} = \pm 5\%$  , напруга мережі  $U_1 = 220\text{В}$  ; частота мережі  $f_c = 50\text{Гц}$  ; робочий діапазон температур  $\Delta T_{окр} = -60 \dots + 80\text{о С}$ .

Розрахуємо потужність у навантаженні:

$$P_{0h} = U_{0h} \times I_0$$

де  $P_{0h}$  – потужність у навантаженні, В\*А;

$U_{0h}$  – вирівняна напруга у навантаженні, В;

$I_0$  – вирівняний струм у навантаженні, А.

$$P_{0h} = 5 \times 0,2 = 1,0 \text{ (В} \times \text{А)}$$

Вибір схеми вирівнювача визначається значенням потужності та напруги. Оскільки потужність у навантаженні у даному випадку невелика, а вирівняний струм менше 1А, можна застосувати однофазну мостову схему вирівнювання з фільтром котра починається з конденсатора.

Напруга на виході схеми вирівнювання  $U_0$  з урахуванням падіння напруги на фільтрі знаходиться по виразу:

$$U_0 = U_{0h} \times \left[ 1 + 0,01 \times \left( \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{0h}} \right) \% \right]$$

де  $U_0$  – напруга на виході з урахуванням падіння на фільтрі, В;

$U_{0h}$  - вирівняна напруга у навантаженні, В;

$\left( \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{0h}} \right) \%$  - значення підставляється із графіка.

$$U_0 = 5 * [ 1 + 0,01 * 10 ] = 5,55 \text{ (В)}$$

Основні параметри діодів схеми визначаються по таблиці, згідно котрої приблизні значення:

$$I_{\text{пр. и. п}} = 3,5 \times I_0 = 3,5 \times 0,1 = 0,35 \text{ (А)}$$

$$I_{\text{пр. ср}} = 0,5 \times I_0 = 0,5 \times 0,1 = 0,05 \text{ (A)}$$

$$U_{\text{обр.и.п}} = 1,5 \times U_0 = 1,5 \times 5 = 7,5 \text{ (В)}$$

У відповідності з цими даними обираємо діодний міст КЦ407А із наступними параметрами при навколишній температурі  $25 \pm 5$  °С:

$$I_{\text{пр.ср max}} = 0,5\text{А} > I_{\text{пр.ср}} ;$$

$$U_{\text{обр.и max}} = 100\text{В} > U_{\text{оюр.и.п}} ;$$

$$I_{\text{пр.и max}} = 6 \times I_{\text{пр.ср max}} = 6 \times 0,5 = 3\text{А} > I_{\text{пр.и.прибл}} ;$$

$$U_{\text{пр.ср}} = 2,5\text{В}.$$

Таким чином, кількість послідовно з'єднаних діодів у діагоналях моста  $N_{\text{посл}} = 1$ .

Активний опір обмоток трансформатора, приведений до другорядної обмотки  $r_{\text{тр}}$  відповідно:

$$r_{\text{тр}} = K_{rC} \times \frac{U_0}{I_0 \times f_c \times B} \times \sqrt[4]{\frac{S \times f_c \times B}{U_0 \times I_0}}$$

де  $r_{\text{тр}}$  - активний опір обмоток трансформатора, Ом;

$K_{rC}$  – коефіцієнт, залежний від схеми вирівнювача, знаходиться із таблиці, дорівнює 3,5;

$B$  – магнітна індукція, при частоті  $f_c = 50$  Гц дорівнює 1,2 Тл;

$S$  – кількість стержень магнітопроводу;

$f_c$  – частота мережі, дорівнює 50 Гц;

$U_0$  – напруга з урахуванням падіння напруги на фільтрі, В;



$I_0$  – вирівняний струм у навантаженні, А.

$$r_{\text{тр}} = 3,5 \times \frac{5,5}{0,2 \times 50 \times 1,2} \times \sqrt[4]{\frac{1 \times 50 \times 1,2}{5,5 \times 0,2}} = 1,7 \text{ (Ом)}$$

Диференційний опір діодів згідно:

$$r_{\text{диф}} = N_{\text{посл}} \times \frac{U_{\text{ср}}}{3 \times I_{\text{прср}}}$$

де  $r_{\text{диф}}$  - диференційний опір діодів, Ом;

$N_{\text{посл}}$  - кількість послідовно з'єднаних діодів.

$$r_{\text{диф}} = 1 \times \frac{2,5}{3 \times 0,1} = 2,56 \text{ (Ом)}$$

Активний опір фази вирівнювача:

$$r_0 = 2 \times r_{\text{диф}} + r_{\text{тр}} = 2 \times 2,56 + 1,7 = 7,0 \text{ (Ом)}$$

Індуктивність розсіяння обмоток трансформатора згідно:

$$L_S = K_L \times \sigma \times \frac{U_0}{I_0 \times f_c \times B \times \sqrt[4]{\frac{\sigma \times f_c \times B}{U_0 \times I_0}}}$$

де  $L_S$  - індуктивність розсіяння обмоток трансформатора, Гн;

$K_L$  – коефіцієнт;

$\sigma$  – кількість стрижней магнітопроводу, для типу ШЛ та ОЛ

$$\sigma = 1;$$

$f_c$  – частота мережі, дорівнює 50Гц;

$U_0$  – напруга з урахуванням падіння напруги на фільтрі, В;

$I_0$  – вирівняний струм у навантаженні, А;

$B$  – магнітна індукція, при частоті  $f_c = 50$ Гц дорівнює 1,2Тл

$$L_S = 5 \times 10^{-3} \times 1 \times \frac{5,5}{0,2 \times 50 \times 1,2 \times \sqrt[4]{\frac{1 \times 50 \times 1,2}{5,5 \times 1,2}}}$$

$$= 1,01 \times 10^{-3} \text{ (Гн)}$$

Співвідношення між активним та реактивним опором фази вирівнювача ( $\text{tg } \varphi$ ) згідно:

$$\text{tg } \varphi = \frac{2 \times \pi \times f_c \times L_S}{r_0}$$

де  $\text{tg } \varphi$  – фаза вирівнювача;

$L_S$  - індуктивність розсіяння обмоток трансформатора, Гн;

$f_c$  – частота мереж, дорівнює 50Гц;

$r_0$  - активний опір фази вирівнювача, Ом.

$$\text{tg } \varphi = \frac{2 \times 3,14 \times 1,04 \times 10^{-3}}{7,02} = 0,05; \varphi = 4$$

Допоміжний коефіцієнт згідно із:

$$A = \frac{I_0 \times \pi \times r_0}{m \times U_0}$$

де  $A$  – допоміжний коефіцієнт;  
 $r_0$  - активний опір фази вирівнювача, Ом;  
 $U_0$  – напруга з урахуванням падіння напруги на фільтрі, В;  
 $I_0$  – вирівняний струм у навантаженні, А;  
 $m$  – коефіцієнт схеми, рівний кількості імпульсів вирівняної напруги,  $m=2$ .

$$A = \frac{0,2 \times 3,14 \times 7,02}{2 \times 8,25} = 0,543$$

Розрахункові коефіцієнти  $B, D, F$  та  $H$ :  $B=1,35$ ;  $D=1,85$ ;  $F=1,2$ ;  $H=6500$ .

Уточнюємо значення  $I_{\text{пр.и}}$ :

$$I_{\text{пр.и}} = 0,5 \times I_0 \times F = 0,5 \times 0,1 \times 1,2 = 0,12 \text{ (А)}; \quad I_{\text{пр.и}} = 0,12 \text{ А} < 0,5 \text{ А}$$

Таким чином, діодний міст КЦ407А по струму обраний правильно.

Електричні параметри трансформатора розраховуються з урахуванням отриманих розрахованих коефіцієнтів, тобто:

$$U_2 = B \times U_0 = 1,35 \times 5,5 = 7,5 \text{ (В)};$$

$$I_2 = D \times \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 1,85 \times \frac{0,2}{\sqrt{2}} = 0,26 \text{ (А)};$$

$$I_1 = n_{21} \times I_2 = \frac{U_2}{U_1} \times I_2 = \frac{11,1}{220} \times 0,26 = 0,01 \text{ (А)};$$

$$P_r = 1,5 \times P_0 = 1,5 \times U_0 \times I_0 = 1,5 \times 5,5 \times 0,2 = 1,65 \text{ (В} \times \text{А)}.$$

Перевірка обраного діодного моста по зворотній напрузі проводиться по формулі:

$$U_{\text{обр.и}} = 1,41 \times U_2 = 1,41 \times 7,5 = 10,5 \text{ (В)} < 100 \text{ (В)}.$$

Таким чином, діод ний міст КЦ407А по зворотній напрузі обраний правильно.

Вхідна ємність фільтра, дорівнює:

$$C_{\text{вх}} = \frac{100 \times H}{K_{\text{п.вх}\%} \times r_0 \times f_c}$$

де  $C_{\text{вх}}$  – вхідна ємність, мкФ;

$K_{\text{п.вх}\%}$  – коефіцієнт пульсацій, де  $K_{\text{п.вх}\%} = 15\%$ ;

$r_0$  - активний опір фази вирівнювача, Ом;

$f_c$  – частота мережи, дорівнює 50Гц.

$$C_{\text{вх}} = \frac{6500 \times 100}{15 \times 7,02 \times 50} = 123 \text{ (мкФ)}$$

Приймається найближче стандартне значення  $C_{\text{вх}} = 100\text{мкФ}$ . По довіднику обираємо конденсатор К50-35 з  $U_{\text{раб}} = 25\text{В}$ , причому значення  $U_{\text{раб}}$  знаходиться із нерівності  $U_{\text{раб}} \leq \sqrt{2} \times U_2$ :

$$\sqrt{2} \times U_2 = 1,41 \times 7,5 = 10,5 \text{ (В)}$$

$$U_{\text{раб}} = 5\text{В} \leq 10,5\text{В}$$

Коефіцієнт пульсації, відповідає обраному  $C_{\text{вх}}$ :

$$K_{\text{п.вх}\%} = \frac{100 \times H}{C_0 \times r_0 \times f_c}$$

$$K_{\text{п.вх}\%} = \frac{100 \times 6500}{100 \times 7,02 \times 50} = 14,8 \text{ (\%)} < 15 \text{ (\%)}.$$

Проводимо розрахунок стабілізатора напруги виконаного на мікросхемі типу КР142ЕН5А. Вихідними даними для вибору інтегрального стабілізатора є:

- ◆ напруга на виході стабілізатора;
- ◆ мінімальна вхідна напруга стабілізатора;
- ◆ максимальна вхідна напруга стабілізатора;
- ◆ потужність навантаження;
- ◆ тип ІМС стабілізаторів напруги.

Сучасні електронні пристрої мають високі вимоги до стабільності напруги живлення, щоб забезпечити високу точність їх роботи. Широке використання інтегральних стабілізаторів дозволяє вирішити ці вимоги при збереженні високих показників у інших аспектах, таких як габарити, маса, вартість і т.д.

Стабілізатори з фіксованою вихідною напругою мають внутрішній дільник, який дозволяє встановити необхідне значення вихідної напруги. Під час виробництва ці стабілізатори налаштовуються на стандартні значення напруги живлення.

Вихідні дані при застосуванні стабілізатора з фіксованою напругою стабілізації:

- 1) напруга на виході  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$ ;
- 2) максимальний струм навантаження  $I_{\text{вх max}} = 1,5 \text{ А}$ ;
- 3) потужність навантаження  $P_{\text{н}} = 10 \text{ Вт}$ .

При створенні стабілізатора напруги на основі інтегральної мікросхеми з фіксованим значенням вихідної напруги, необхідно вибрати відповідну інтегральну мікросхему. В даному випадку ми використовуємо КР142ЕН5А з  $U_{\text{вих}} = 5 \text{ В}$  і перевірити чи може ця інтегральна мікросхема

задовольнити вимогам щодо напруги та чи не перевищує допустиме значення потужності розсіювання в заданих умовах.

За напругою необхідно забезпечувати виконання умов

$$U_{\text{вх max}} < U_{\text{вх max доп}}$$

де  $U_{\text{вх max доп}}$  – максимально допустима вхідна напруга ІМС.

$$U_{\text{вх min}} - U_{\text{вих}} > U_{\text{ІМС min}}$$

Оскільки:  $U_{\text{вх max}} = 25 \text{ В} < 35 \text{ В} = U_{\text{вх max доп}}$ ,

$$15 - 5 = 10 \text{ В} > 2,5 \text{ В} = U_{\text{ІМС min}},$$

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

Перевіримо можливість застосування ІМС КР1158ЕН6А за потужністю, якщо її струм навантаження становить:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{вих}}}$$

$$I_{\text{н}} = \frac{7,8}{5} = 1,52 \text{ А},$$

а максимальне падіння напруги на ній дорівнює:

$$\Delta U = U_{\text{вх max}} - U_{\text{вих}}$$

$$\Delta U = 25 - 5 = 20 \text{ В}.$$

Тоді  $P_{\text{ІМС}} = 20 \times 0,65 = 13 \text{ Вт}$ .

Оскільки  $P_{\text{ІМС}} = 13 \text{ Вт} < 1 \text{ Вт}$ ,

то ІМС у даному разі можна використовувати без тепло відводу.

Величини ємностей електролітичних конденсаторів повинні бути не меншими за 100 мкФ. Конденсатори встановлюється за вихідних напруг,

близьких до мінімальної. За даними у довідниках обираємо тип конденсаторів К50-35 на напругу 25 В.

Розроблена схема блоку живлення показана на рисунку 2.6

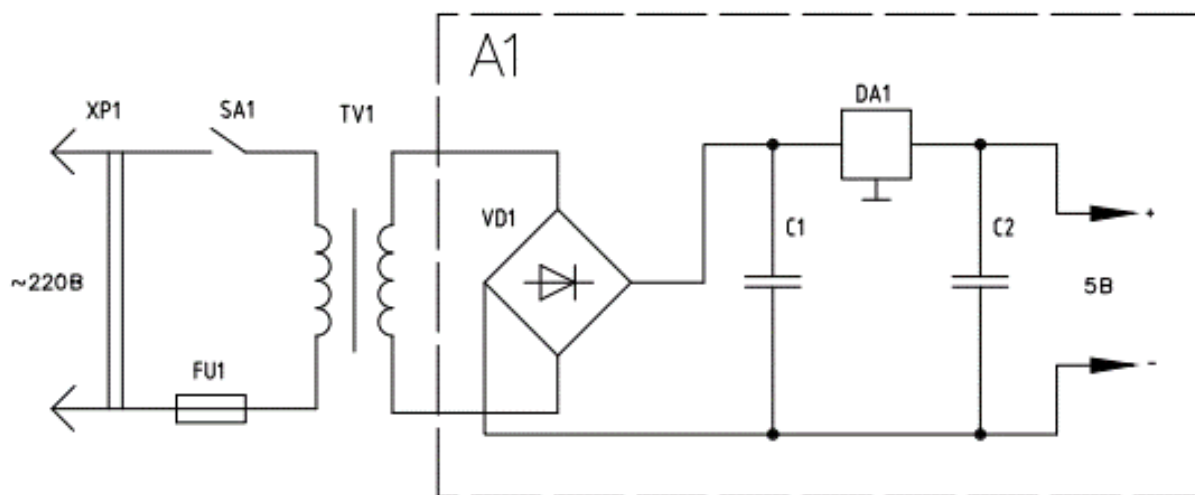


Рисунок 2.6 - Схема блоку живлення

## 2.8 Розрахунок надійності

В даному розділі проведемо аналіз причин виникнення відмов, та перелік мір які були прийняті в процесі проектування для забезпечення надійності.

Виникаючі відмовлення викликаються наступними основними факторами:

- ◆ недостатньою надійністю комплектуючих вузлів;
- ◆ порушенням розроблювачем технічних умов на застосування вузлів;
- ◆ схемно-конструкторськими і виробничими недоліками;
- ◆ порушенням правил експлуатації;
- ◆ недостатньою захищеністю радіоелектронної апаратури від зовнішніх

впливів.

Фактори, що впливають на надійність підрозділяють на наступні функціональні групи:

- 1) схемно-конструктивні;
- 2) виробничо-технологічні;
- 3) експлуатаційні.

З схемно-конструктивних причин частка відмовлень експлуатованої апаратури складає 70-80% від усіх відмовлень.

Питома вага виробничо-технологічних факторів відмовлень складає 20-30%.

Основні експлуатаційні фактори:

- ◆ ударно-вібраційні навантаження;
- ◆ кліматичні впливи.

Якщо важливе значення має безвідмовна робота пристрою у періоді виконання роботи, тоді надійність пристрою характеризує коефіцієнт оперативної готовності. Розрахунок параметрів пристрою виконуємо використовуючи експоненціальну математичну модель надійності:

$$P = e^{-\lambda t}$$

де  $P$  - ймовірність безвідмовної роботи пристрою, год.;

$e$  – основа натурального логарифму;

$\lambda$  – інтенсивність відмов пристрою, 1/год.;

$t$  - час, год.

Інтенсивність відмов  $\lambda$  для пристрою розраховується за наступною формулою:

$$\lambda = \sum N_i \times \lambda_i$$



де  $\lambda$  - інтенсивність відмов пристрою, 1/год.;

$\lambda_i$  - інтенсивність відмов  $i$ -го елемента, 1/год.;

$N_i$  - кількість елементів  $i$ -го елемента, шт.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов елементів приладу розрахуємо по наступній формулі:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K \times K_e$$

де  $\lambda_i$  - інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;

$\lambda_0$  - інтенсивність відмов типів елементів;

$K_e$  - коефіцієнт залежний від умов експлуатації, приймаємо  $K_e = 1$ .

Розрахунки проводимо по вище вказаним формулам, а результати розрахунків представимо в таблиці .

Інтенсивність відмов за часом характеризується залежністю яка показана на рисунок 2.7.

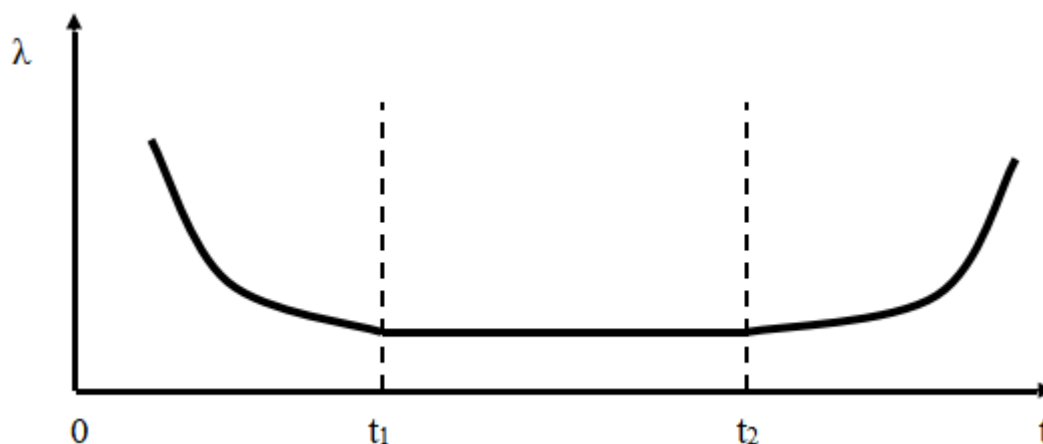


Рисунок 2.7 – Залежність інтенсивності відмов від часу

де  $0 \div t_1$  – час приробітку, відмови за рахунок прояви схованих дефектів, елементної бази, технології виготовлення

$t_2 \div t_1$  – час нормальної роботи приладу;

$t_2 \div \infty$  – збільшення інтенсивності відмови виробу за рахунок старіння діелектриків, елементів.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов керамічних та оксидно-електролітичних конденсаторів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_c \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_e$  – коефіцієнт залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов постійних резисторів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_R \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_R$  – коефіцієнт, залежний від величини номінального опору;

$K_e$  – коефіцієнт залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов змінних резисторів.

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_R \times K_e \times K_{S1}$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^\circ\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_R$  – коефіцієнт, залежний від величини номінального опору;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації;

$K_{S1}$  – коефіцієнт, залежний від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої по ТУ.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов напівпровідникових елементів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_\phi \times K_{д.н} \times K_{S1} \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^\circ\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_\phi$  – коефіцієнт, враховуючий функціональне призначення приладу;

$K_{д.н}$  – коефіцієнт, залежний від величини максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності розсіювання струму;

$K_{S1}$  – коефіцієнт, залежний від величини відношення робочої напруги до максимально допустимої по ТУ.

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов комутаційних пристроїв:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_{к.к.} \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_{к.к.}$  – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних контактів;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов мікросхем:

$$\lambda_i = \lambda_{0с.г} \times K_{сл} \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_{0с.г}$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_{сл}$  – коефіцієнт, залежний від величини максимально допустимого по ТУ навантаження по потужності розсіювання струму;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов індикаторів напівпровідникових:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов з'єднувачів:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_p \times K_{к.к.} \times K_{к.с.} \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_{к.к.}$  – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних контактів;

$K_p$  – коефіцієнт режиму, залежний від електричного навантаження та температури навколишнього середовища;

$K_{к.с.}$  – коефіцієнт, застосований від кількості використовуваних з'єднань;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Розрахунок значення експлуатаційної інтенсивності відмов запобіжників:

$$\lambda_i = \lambda_0 \times K_t \times K_e$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов і-тих елементів, 1/год.;

$\lambda_0$  – інтенсивність відмов типів (групи) приладів відповідно температурі навколишнього середовища  $+25^{\circ}\text{C}$  і номінальному електричному навантаженню;

$K_t$  – коефіцієнт для запобіжників при номінальному навантаженні;

$K_e$  – коефіцієнт, залежний від умов експлуатації.

Таблиця 2.1 - Значення інтенсивності відмов конденсаторів

Позиція	Тип	$K_n$	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_p$	$K_e$	$K_c$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
C1...C4	K10-17-1мкФ	0,3	0,013	0,08	2,5	0,9	0,0018
C5	K10-17-470мкФ- 16В	0,3	0,013	0,08	2,5	0,9	0,0018
C6	K10-17-33нФ	0,3	0,013	0,08	2,5	2,1	0,00546
C7,C8	K10-17-100нФ	0,3	0,013	0,08	2,5	2,6 5	0,00689
C9	K73-11-10мкФ	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1 0	0,0022

C10	K10-17-100 <sub>HΦ</sub>	0,3	0,013	0,08	2,5	2,6 5	0,00689
C11	K73-11-10 <sub>мкΦ</sub>	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1 0	0,0022
C12	K10-17-30 <sub>HΦ</sub>	0,3	0,013	0,08	2,5	2,1	0,00546
C13,C14	K73-11-10 <sub>мкф-50В</sub>	0,3	0,01	0,08	2,5	1,1 0	0,0022
$\Sigma C_i$							0,03

Таблиця 2.2 - Значення інтенсивності відмов постійних резисторів

Позиція	Тип	$K_H$	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_p$	$K_e$	$K_R$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
R1,R2	C2-6-0,125-91 $\Omega$	0,3	0,01	0,4 8	2,5	0,7	0,0084
R3,R4	C2-6-0,125-750 $\Omega$	0,3	0,01	0,4 8	2,5	1,0	0,012
R5	C2-6-0,125-24 $k\Omega$	0,3	0,01	0,4 8	2,5	2,0	0,0024
R6	ПС2-2-12 $k\Omega$	0,3	0,01	0,4 8	2,5	1,2	0,036
$\Sigma R_i$							0,06

Таблиця 2.3 - Значення інтенсивності відмов роз'ємів

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_e$	$K_p$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.

$X_1, X_2, X_3$	СНЦЗМ ГЕО.364.237ТУ	0,25	2,5	0,5	0.3125
$\sum X_i$					0.3125

Таблиця 2.4 - Значення інтенсивності відмов кварцового резонатора

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год	$K_e$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год
ZQ1	PK168 ОД0.338.020 ТУ	0,1	2,5	0,25

Таблиця 2.5 - Значення інтенсивності відмов мікросхем

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_{сл}$	$K_e$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
DA1	MAX232CPE	0,2	1.0	2,5	0,5
DA2	K140УД14А	0,013	1.0	2,5	0,0325
DA3	572ПА1А	0,2	1.0	2,5	0,5
DA4	KP140УД8А	0,013	1.0	2,5	0,0325
DD1	ATmega16-16PU	0,4	1,0	2,5	1
$\Sigma$					2,07

Таблиця 2.6 - Значення інтенсивності відмов датчиків

Позиція	Тип	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$ 1/год.	$K_p$	$K_e$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$ 1/год.
B1	GP2Y0A41SK	0,3	0,21	2,5	0,1575



B2	GP2Y0A21	0,4	0,21	2,5	0,21
$\sum B_i$					0,3675

Значення експлуатаційної інтенсивності відмови пайки:

$$\lambda_i = 105 \times 0,01 \times 10^{-6} = 1,05 \times 10^{-6}$$

Кількість пайок – 105 шт.

Розраховуємо сумарну інтенсивність відмов приладу:

$$\lambda_{\text{пр}} = K_{\text{ам}} \times K_{\text{обс}} \times \lambda_{\text{сі}}$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмови приладу, 1/год.;

$K_{\text{ам}}$  – коефіцієнт амортизації ( $K_{\text{ам}} = 0,85$ );

$K_{\text{обс}}$  - коефіцієнт обслуговування ( $K_{\text{обс}} = 1$ );

$\lambda_{\text{сі}}$  – сумарна експлуатаційна інтенсивність відмови  $i$ -тих елементів приладу.

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{сі}} &= (0,03 + 0,06 + 0,3125 + 0,025 + 2,07 + 0,3675 + 1,05) \times 10^{-6} \\ &= 3,915 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\lambda_{\text{пр}} = 0,85 \times 1 \times 3,915 \times 10^{-6} = 3,33 \times 10^{-6} \text{ 1/год}$$

Розрахунок значення середньої наробітки до відмови:

$$t_{\text{сер}} = 1/\lambda_{\text{пр}}$$

де  $t_{\text{сер}}$  - середня наробітку до відмови.

$$t_{\text{сер}} = \frac{1}{3,33} \times 10^{-6} = 300300,3 \text{ год}$$

Середня наробітка до відмови у роках:

$$t_{\text{сер (р.)}} = \frac{300300,3}{365 \times 24} = 34 \text{ років}$$

Імовірність безвідмовної роботи :

$$P = e^{-\lambda t}$$

де  $P$  – імовірність безвідмовної роботи;

$e$  – основа натурального логарифму;

$\lambda$  – інтенсивність відмови приладу, 1/год.;

Для побудови графіка залежності  $P = f(t)$  знаходиться крок по осі абсцис ( $t_{\text{год}}$ ) і складається таблиця 2.7:

$$h = \frac{T_{\text{сер}}}{4}$$

де  $h$  – крок по осі абсцис, год.

$$h = \frac{300300,3}{4} = 75075,1 \text{ год} \approx 7 \times 10^4 \text{ год}$$

Таблиця 2.7 - Графік залежності  $P = f(t)$

$t \cdot 10^4$	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63
$\lambda \cdot t$	0	0,23	0,46	0,69	0,93	1,16	1,39	1,63	1,86	2,09
$e^{-\lambda t}$	1	0,79	0,63	0,50	0,39	0,31	0,24	0,19	0,15	0,12

Графік залежності  $P = f(t)$  зображений на рисунку 2.8

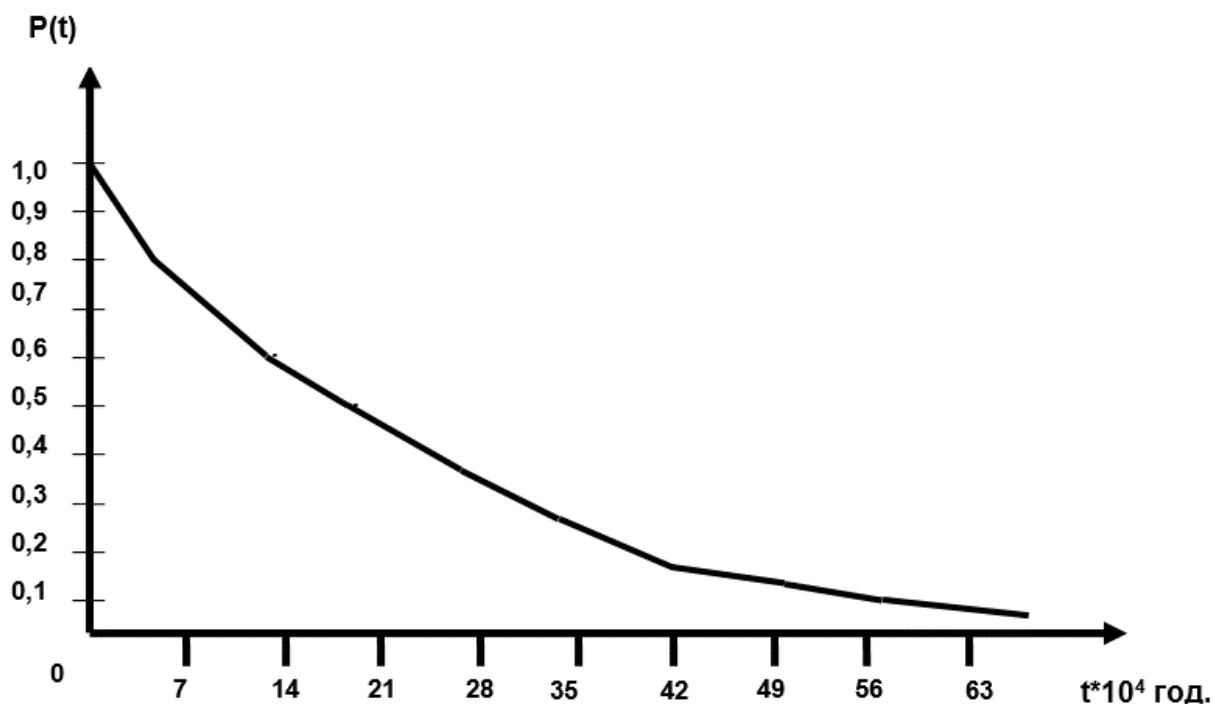


Рисунок 2.8 – Графік ймовірності безвідмовної роботи

Надійність визначає тривалість безвідмовної роботи пристрою і є одним з головних показників його довговічності в заданих умовах експлуатації. Це фізична властивість, яка описує здатність пристрою працювати безвідмовно протягом визначеного періоду часу, навіть коли окремі його компоненти ще не до кінця розроблені. З точки зору надійності, з'єднання компонентів в апаратурі, пристрої або блоках має таку характеристику, що відмова будь-якого компонента призводить до відмови всього пристрою.

Отже, забезпечення високої надійності апаратури вимагає застосування комплексу заходів на всіх етапах виробництва та експлуатації. Особливу увагу слід приділяти етапу розробки, оскільки саме на цьому етапі вибираються принципи забезпечення надійності. При цьому потрібно враховувати низку основних вимог до пристрою, таких як технічні та тактико-технічні характеристики (розміри, вага, чутливість, точність, швидкодія, час введення в робочий стан).

## 2.9 Технологічний маршрут виготовлення пристрою

Виконано складальне креслення друкованої плати терменвоксу, габаритні розміри розробленого пристрою 65 × 90 мм, зображено на рисунку 2.9

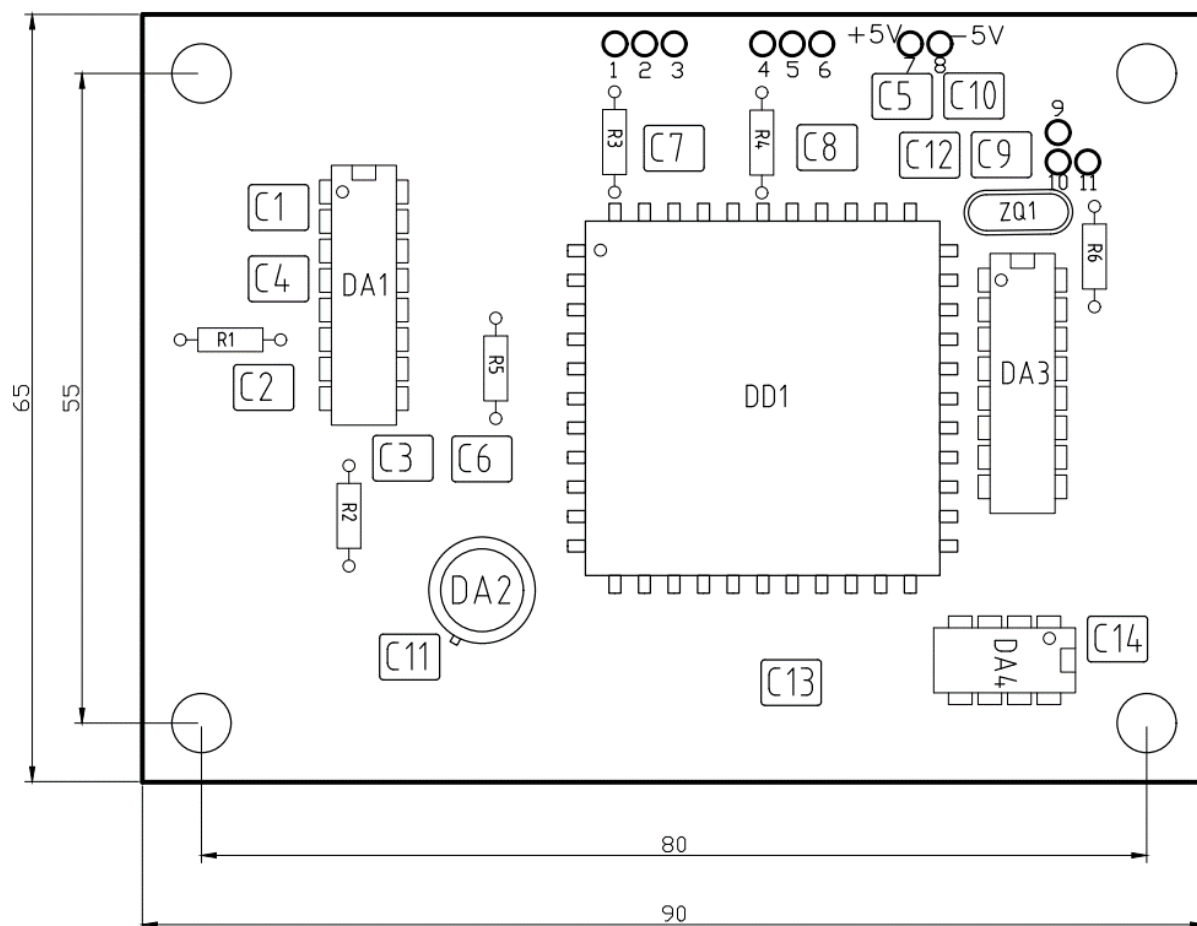


Рисунок 2.9 - Складальне креслення

Загальний вигляд маршруту виготовлення друкованої плати гальвано-хімічним методом є таким:

- ◆ Вирубка заготовки
- ◆ Свердлення отворів
- ◆ Підготовка поверхні заготівлі

- ◆ Нанесення рисунку схеми
- ◆ Хімічне травлення
- ◆ Покриття сплавом “Розе”
- ◆ Установка елементів на друковану плату
- ◆ Пайка друкованої плати
- ◆ Консервування
- ◆ Вихідний контроль

Після виконання усіх етапів пристрій готовий до експлуатації, а при правильному монтажі починає працювати одразу після ввімкнення.

Таким чином, розроблено бюджетний та малогабаритний електронний музичний інструмент на основі мікроконтролера ATmega16-16PU, що створює звуки за допомогою електромагнітної хвилі, яка генерується за допомогою взаємодії рук музиканта з антенною. В якості чутливого елемента застосовуються оптичні датчики, а саме -інфрачервоні. Програма для мікроконтролера написана на мові C в середовищі WinAVR (AVR Toolchain), що входить до складу IDE AVR Studio v4.19.

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

В законодавстві щодо охорони праці в Україні основу становлять Конституція України, такі закони як "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист" та "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодекс законів про працю України (КЗПП).

Найважливішим законодавчим документом у сфері охорони праці є Закон України "Про охорону праці". Цей закон поширює свою дію на всі підприємства, установи і організації незалежно від їх форми власності та видів діяльності, а також на всіх працівників, включаючи тих, хто працює на цих підприємствах.

Одним з основних принципів державної політики в галузі охорони праці є навчання та систематичне підвищення рівня знань працівників і населення України з питань охорони праці. Це є фундаментальною основою безпеки праці та необхідною умовою для поліпшення управління охороною праці та ефективної профілактичної роботи з метою запобігання аваріям і травматизму на виробництві.

### 3.1 Вимоги до безпеки праці

Умови праці визначаються як сукупність факторів виробничого середовища, які впливають на здоров'я та працездатність людини під час виконання роботи.

Згідно з вимогами ОСТ 12.3.002-75 "Процеси виробничі" та факторами виробничого середовища, важливим чином забезпечується створення здорових та безпечних умов праці. Це досягається через вибір правильного технологічного процесу, використання відповідних матеріалів та обладнання, розподіл навантаження між людиною та машинами, регулювання режиму праці та відпочинку, створення естетичного робочого середовища та правильний вибір працівників.

При організації умов праці також необхідно враховувати вплив небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть призвести до травм або раптового погіршення здоров'я, а також зниження працездатності.

ОСТ 12.0.003-74 класифікує шкідливі та небезпечні виробничі фактори на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. Кожна з цих груп поділяється на підгрупи.

Для запобігання травмам та професійним захворюванням, спричиненим небезпечними та шкідливими виробничими факторами, на підприємствах приймаються заходи щодо їх попередження, усунення та зменшення впливу на працюючих.

Організація та поліпшення умов праці на робочому місці є одним із ключових чинників підвищення продуктивності праці, економічної ефективності виробництва та розвитку працівника. Це має велике соціальне та економічне значення.

Захисні засоби від дотику до струмоведучих частин електроустановок включають в себе ізоляцію, огороження, блокування, електрозахисні засоби, сигналізацію та плакати.

Ізоляція проводів характеризується їх опором. Високий опір ізоляції проводів щодо землі та корпусів електроустановок створює безпечні умови для персоналу, який працює з ними.

Огороження можуть бути суцільними або сітчастими, при цьому вони повинні мати вогнестійкі властивості. Суцільні огороження (кришки та кожухи) та сітчасті використовуються в електроустановках з напругою до 1000 В та вище.

Блокування застосовується в електроустановках з напругою вище 250 В, де часто проводяться роботи зі струмоведучими частинами, які підлягають блокуванню.

До електрозахисних засобів входять ізолюючі засоби, переносні показчики напруги та струмовимірювальні кліщі.

Сигналізація привертає увагу працівників та попереджає їх про неправильні дії при обслуговуванні електроустановок.

Радіоелектронними називають устаткування, принцип дії якого базується на використанні радіотехнічних пристроїв, електронних, іонних, напівпровідникових та квантових приладів.

При монтажі радіосхем заборонено: перевіряти наявність напруги шляхом дотику до струмоведучих частин схеми; використовувати пошкоджені проводи для з'єднання блоків та приладів; виконувати пайку та встановлення деталей в устаткуванні, яке перебуває під напругою; вимірювати напругу та струм за допомогою переносних приладів з неізольованими проводами та щупами; підключати блоки та прилади до устаткування, яке перебуває під напругою; замінити запобіжники



включеним устаткуванням; працювати на високовольтних установках без захисних засобів.

Для вимірювання параметрів електричної схеми за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури, деякі заходи безпеки можуть бути виконані. Це включає витягання блоків налагоджуваного устаткування з корпусу, відкривання дверцят, знімання огорожень у місцях підключення вимірювальної апаратури та замикання блокування. Проте, при цьому необхідно дотримуватися наступних правил безпеки:

1. Всі підготовчі роботи та підключення вимірювальної апаратури повинні здійснюватися після відключення живлення та перевірки відсутності залишкового заряду.
2. Металеві корпуси устаткування та вимірювальної апаратури повинні бути заземлені (занулені) до подачі напруги. Якщо заземлення може створити проблеми (наведення), тоді можна працювати без заземлення, але з використанням тимчасових огорожень, які повинні бути попереджувальними плакатами і захисними засобами.
3. Місце розташування та підключення контрольно-вимірювальної апаратури в електричні ланцюги з напругою вище 1000 В повинно бути відгороджене та позначене попереджувальними плакатами, залишаючи доступ лише до органів управління. [15]

### 3.2 Вимоги до промсанітарії

При виборі майданчиків для будівництва підприємств, важливо враховувати повний комплекс санітарно-технічних заходів, які створять сприятливі умови як для працівників, так і для оточуючого середовища, будь то житловий район або лісовий масив.

Промислові підприємства з виробничими процесами, що включають виділення диму, пилю, газів та хімічних сполук у повітря, повинні розташовуватися відносно інших підприємств та житлових районів з підвітряної сторони.

Майданчик для будівництва промислового підприємства повинен відповідати санітарним вимогам щодо прямого сонячного опромінення, природного провітрювання та розташовуватися якнайближче до енергетичних комунікацій.

У проектах підприємств має бути передбачено наявність або відсутність мінімального виділення шкідливих або неприємно пахнуть речовин в атмосферу, стічні води; мінімального утворення шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль радіочастот, іонізуючого випромінювання та статичної електрики.

Приміщення з віконними отворами повинні мати відповідні механізми для провітрювання, такі як розсувні рами, відкидні вікна тощо.

На підприємствах повинні бути побутові приміщення, такі як гардеробні, умивальні, душові, туалети, приміщення для особистої гігієни жінок, курильні, приміщення для санітарного пропуску, пральні.

На кожному підприємстві передбачаються системи каналізації для зливу фекальних, господарських та виробничих вод.

Санітарні вимоги до виробничих приміщень встановлюються відповідно до діючих нормативних документів, таких як Державні будівельні норми та правила, обов'язкові стандарти. Ці вимоги враховують шкідливі речовини, які можуть виділятися під час технологічних процесів і, у разі порушення вимог безпеки, можуть призвести до виробничих травм або професійних захворювань.

Шкідливі речовини класифікуються на чотири категорії небезпеки: надзвичайно небезпечні, високонебезпечні, помірковано небезпечні та малонебезпечні.

Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони встановлюються таким чином, щоб протягом робочої зміни вони не могли спричинити захворювання.

Шкідливі речовини можуть бути токсичними, подразнюючими або канцерогенними, а також можуть перебувати у формі зваженого пилу, диму або туману.

При плануванні технологічних процесів рекомендується розміщувати обладнання та робочі місця з однаковими шкідливими виробничими факторами на одній ділянці. Виробничі меблі та обладнання повинні відповідати вимогам технології.

Метеорологічні умови, такі як температура, вологість повітря та теплове випромінювання, є важливими факторами, які можуть суттєво впливати на самопочуття людини та спричиняти захворювання. Вимоги щодо метеорологічних умов у виробничих приміщеннях встановлюються відповідно до відповідних нормативних документів, які враховують час року та характер виконуваних робіт.

Освітлення виробничих приміщень повинно відповідати вимогам, встановленим у СНіП 11-4-79. У будівлях, розташованих у III і IV кліматичних районах, передбачаються сонцезахисні пристрої. В приміщеннях з недостатнім природним освітленням або без природного світла можуть застосовуватися установки штучного ультрафіолетового освітлення відповідно до відповідних нормативних документів.

Для місцевого освітлення рекомендується використовувати світильники, які встановлені на верстатах і налаштовані таким чином, щоб освітленість у робочій зоні не була нижче встановлених значень. Для цього

можуть застосовуватися світильники з не просвічуваними відбивачами із захисним кутом не менше  $30^\circ$ . Крім того, повинні бути прийняті заходи для зменшення відбитого блиску.

Чищення скла, віконних прорізів і світлових ліхтарів рекомендується проводити щонайменше два рази на рік. Чищення ламп і освітлювальної арматури для інструментальних цехів також рекомендується проводити не рідше двох разів на рік, а для інших виробничих приміщень — не рідше чотирьох разів на рік.

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні та експлуатації машин важливо прийняти всі необхідні заходи для зниження рівня шуму. Ефективним способом боротьби з шумом є зменшення його джерела. Для цього використовуються малошумні механічні передачі, розробляються способи зниження шуму в підшипникових вузлах та вентиляторах.

Зниження шуму також можна досягти за допомогою звукопоглинання та звукоізоляції. Для цього шумовипромінювальний об'єкт поміщають у кожус, а внутрішні стінки кожуса покриваються звукопоглинальним матеріалом. Застосовується також метод звукоізоляції, де шумові джерела розташовуються окремо, відокремлені від менш шумних приміщень за допомогою звукоізолюваних стін або перегородок.

Робітники та службовці, що працюють у цехах і ділянках з обробки різанням, повинні бути захищені від небезпечних і шкідливих виробничих факторів за допомогою спецодягу, спецвзуття та запобіжних пристосувань відповідно до галузевих норм, що діють і затверджені у встановленому порядку.

Спецодяг працівників, які займаються обробкою магнієвих сплавів, слід регулярно очищати від осілого пилу, провітрювати та зберігати у металевих шафах, а також прати щонайменше один раз на тиждень.

Для захисту шкірного покриву від впливу небезпечних речовин та пилу токсичних металів застосовуються дерматологічні захисні засоби, такі як профілактичні пасти, мазі та креми. [16]

### 3.3 Вимоги до пожежної безпеки

Електрообладнання, включаючи їх можливість використання, монтаж, налаштування та експлуатацію, повинні відповідати вимогам регуляторних документів, таких як Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правила техніки безпеки під час експлуатації електрообладнання споживачів (ПТБ) та інші відповідні нормативні документи.

При проектуванні будівельної частини електроустановки необхідно дотримуватися протипожежних вимог будівельних норм та ПУЕ.

Відстань між повітряними лініями електропередач та будівлями або спорудами, які містять вибухопожежні або пожежнебезпечні приміщення, до зон вибухонебезпеки та пожежонебезпечних зовнішніх установок, а також до займистих та близьких частин будівель або споруд, місць зберігання горючих матеріалів, повинна відповідати вимогам, визначеним ПУЕ.

Електричні машини, апарати, обладнання (включаючи апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники та інше) повинні відповідати класу зони (згідно з ПУЕ) і мати апаратуру захисту від короткого замикання та інших аварійних режимів, а електричні проводи та кабелі повинні відповідати вимогам щодо виконання та ступеню захисту.

Телефонні апарати, сигнальні пристрої до них, електричні годинники, радіоприймачі та інші подібні споживачі електроенергії можуть використовуватись у зонах з підвищеною вибухонебезпекою залежно від їх класу захисту.

Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані та мати номінальний струм, який зазначений на клеймі (яку наноситься завод-виробник або електротехнічна лабораторія). Використання саморобних некаліброваних плавких вставок є забороненим.

Електродвигуни, світильники та інші електричні машини, апарати та обладнання, які встановлені в зонах, які можуть бути вибухонебезпечними або пожежонебезпечними, повинні мати відповідні знаки, які вказують на їх ступінь захисту згідно з діючими стандартами.

З'єднання, відгалуження та завершення проводів і кабелів повинні здійснюватись шляхом пресування, зварювання, паяння або застосування затискачів, таких як гвинтові або болтові затискачі.

Місце з'єднання проводів і кабелів, а також з'єднувальні та відгалужувальні затискачі повинні мати мінімальний опір передачі.

Встановлення та використання тимчасових електромереж не допускається.

Первинними засобами пожежегасіння є вогнегасники та пожежний інвентар, такі як покривала з негорючої грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки та пожежні відра, совкові лопати, а також пожежний інструмент, такий як гаки, сокири і т.д.

Для визначення видів та кількості первинних засобів пожежегасіння необхідно враховувати фізико-хімічні властивості горючих речовин, їх взаємодію з вогнегасними матеріалами, а також розміри приміщень, відкритих майданчиків та установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежегасіння слід визначати окремо для кожного поверху, приміщення, закритих та відкритих установок.

Якщо в одному приміщенні знаходяться різні види виробництва з різними рівнями небезпеки, і вони не розділені протипожежними стінами, то всі ці приміщення повинні бути обладнані вогнегасниками, пожежним інвентарем та іншими засобами пожежегасіння.

Розміри покривал повинні бути не менше 1 м x 1 м. Їх використовують для гасіння місцевих осередків пожеж у випадку горіння речовин, які можуть горіти без доступу повітря. У місцях, де використовуються або зберігаються легкозаймисті та горючі речовини, розміри покривал можуть бути збільшені до 2 м x 1,5 м або 2 м x 2 м. Покривала призначені для гасіння речовин класів "А", "В", "О" та "Е".

Бочки з водою встановлюються у виробничих, складських приміщеннях та спорудах, якщо в них немає внутрішнього протипожежного водогону та є горючі матеріали.

Вибір типу вогнегасника та визначення необхідної кількості залежить від його вогнегасної спроможності, максимальної площі, класу горючих речовин та матеріалів у захищуваному приміщенні або на об'єкті. Клас А - горіння твердих речовин, яке супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір); клас В - горіння рідин або твердих речовин; клас С - горіння газів; клас D - горіння металів та сплавів; клас Е - горіння, пов'язане з електроустановками. Також враховуються категорії приміщень з точки зору вибухопожежної та пожежної небезпеки.

Вибір між пересувним та переносним вогнегасником залежить від розмірів можливих осередків пожеж. У разі більших розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. При роботі з радіоелектронним устаткуванням рекомендується використовувати вуглекислотні вогнегасники типу ВВ.

При виборі вогнегасника необхідно враховувати кліматичні умови експлуатації будівель та споруд, і обирати вогнегасник з відповідною температурною межею використання.

Якщо на об'єкті можливі комбіновані осередки пожеж, то перевагу в виборі вогнегасника слід надавати більш універсальному засобу, який підходить для застосування в цій області. [17]

### 3.4 Вимоги електробезпеки

#### 3.4.1 Загальні вимоги

Електричний струм, електрична дуга та електромагнітні поля можуть небезпечно впливати на людей, спричиняючи електротравми та професійні захворювання.

Ступінь небезпеки і шкідливого впливу цих факторів на людину залежить від наступних чинників:

- ◆ Величини та властивостей (видів) напруги та струму.
- ◆ Тривалості впливу електричного струму або електромагнітного поля на організм людини.
- ◆ Шляху струму через тіло людини.
- ◆ Частоти електричного струму.
- ◆ Умов довкілля.
- ◆ Основні вимоги щодо безпеки електроустаткування та оцінювання його відповідності встановлені в певних нормативних документах.



Вимоги до безпеки конструкції та будови електроустаткування різних видів встановлюються у відповідних стандартах та технічних умовах.

Правила безпечного експлуатування електроустановок встановлює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за промисловою безпекою, охороною праці та гірничого нагляду.

Загальні вимоги захисту від ураження електричним струмом, включаючи гранично допустимі значення напруг дотику та струмів в електроустаткуванні, регулюються відповідними нормативними документами.

Вимоги до електробезпеки під час впливу електричних полів промислової частоти та електромагнітних полів радіочастот також визначені відповідними стандартами.

Забезпечення електробезпеки здійснюється за допомогою:

- ◆ Конструкції електроустаткування.
- ◆ Організаційних та технічних заходів.
- ◆ Технічних способів та засобів захисту.

Електроустаткування та його частини повинні задовольняти вимогам безпеки та бути відтворені таким чином, щоб працівники не піддавалися небезпеці від електричного струму та електромагнітних полів.

Працівники, які працюють з електроустаткуванням, повинні пройти інструктаж і навчання безпечним методам роботи, скласти відповідні іспити на знання правил безпеки та охорони праці, відповідно до своїх посад, і мати відповідну групу з електробезпеки відповідно до встановлених вимог. Крім того, вони не повинні мати медичних протипоказань.

### 3.4.2 Організаційні заходи

Затвердження переліку робіт, які виконуються за нарядами та розпорядженнями, є частиною організаційного порядку поточної експлуатації.

Для забезпечення безпечного виконання робіт встановлюються права та складаються списки відповідальних осіб, які мають повноваження здійснювати наступні дії:

- ◆ Видавання нарядів та розпоряджень.
- ◆ Призначення керівників робіт.
- ◆ Допуск працівників до роботи.
- ◆ Нагляд за виконанням робіт.
- ◆ Організація оперативних перемикань.
- ◆ Видання дозволів на підготовку робочих місць та допуск до роботи.
- ◆ Огляд електроустановок однією особою.
- ◆ Допуск працівників, що виконують роботи в порядку поточної експлуатації.

Права на виконання зазначених дій надаються після перевірки знань працівників.

Під час виконання робіт за нарядами та розпорядженнями слід дотримуватись таких вимог:

- ◆ Видавати наряди та розпорядження.
- ◆ Видавати дозвіл на підготовку робочих місць та допуск до роботи.
- ◆ Проводити підготовку робочого місця та допуск до роботи.

- ◆ Здійснювати нагляд під час виконання робіт.
- ◆ Виконувати переведення на інше робоче місце.
- ◆ Оформлювати перерви в роботі та завершення робіт.

При виконанні робіт на струмовідних частинах електроустановки, які перебувають під напругою або знаходяться поблизу, слід дотримуватись вимог нормативно-правових актів з охорони праці. Це включає в себе виконання необхідних заходів безпеки та дотримання встановлених правил під час проведення таких робіт.

### 3.4.3 Розрахунок електромережі на здатність відключення при аварійному режимі роботи електрообладнання

Струм короткого замикання визначається за формулою:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{(R_{\phi} + R_{н} + Z_{т})} \quad (3.1)$$

де  $U_{\phi}$  — фазова напруга мережі, становить 220 В;  $R_{\phi}$  — опір фазового проводу, становить  $\approx 1,6$  Ом;  $R_{н}$  — опір нульового проводу, становить  $\approx 1,6$  Ом;  $Z_{т}$  — розрахунковий опір трансформатора, становить 0,1 Ом;

Підставимо значення у формулу (3.1), остаточно отримаємо:

$$I_{к.з} = \frac{220}{1,6 + 1,6 + 0,12} \approx 66,26 \quad (3.2)$$

Для надійного спрацювання автоматів струмового захисту необхідно, щоб виконувалась умова:

$$I_{к.з} \geq 1,4 \cdot I_{авт.макс}$$

Відповідно, струм відключення автомату  $I_{авт.}$  повинен бути не більше:

$$I_{авт.макс.} = \frac{I_{к.з}}{1,4} = \frac{66,26}{1,4} \approx 47,32 \quad (3.3)$$

Мережа в робочому приміщенні обладнана автоматом струмового захисту, розрахованого на струм  $I_{авт.} = 15$  А. Таким чином, струм короткого замикання при виникненні аварійної ситуації в ( $I_{к.з}/I_{авт.} = 66,26 / 15 \approx 4,42$ ) рази перевищує номінальний струм спрацювання автомату, що задовольняє встановленим нормам.

Напругу дотику до зануленого обладнання визначають за формулою:

$$U_{дот.} = I_{к.з.} \cdot R_{н} = 66,26 \cdot 1,6 \approx 106,01 \text{ В} \quad (3.4)$$

Напруга дотику ( $U_{дот.} < U_{доп} = 500$  В) за час спрацювання автоматів струмового захисту ( $t < 0,1$  с) не перевищує допустимого значення, що відповідає вимогам ГОСТ 12.1.038-88.

Підключення обладнання виконано у відповідності з вимогами ПБЕ та ПУЕ. Додаткових заходів щодо підвищення рівня електробезпеки в робочому приміщенні впроваджувати не потрібно.

#### 3.4.4 Технічні заходи

Технічні заходи, що забезпечують безпеку електропостачання, встановлюються з урахуванням наступних факторів:

- a. Номінальної напруги, виду та частоти струму електроустаткування.
- b. Способу електропостачання, якщо це стаціонарна мережа або автономне джерело живлення.
- c. Типу заземлення системи.
- d. Виду електроустаткування (стаціонарні, пересувні, переносні).
- e. Умов довкілля, таких як особливо небезпечні приміщення, приміщення підвищеної небезпеки, приміщення без підвищеної небезпеки або робота на відкритому повітрі.
- f. Можливості зняття напруги зі струмовідних частин, на яких проводяться роботи.
- g. Характеру можливого дотику людини до елементів кола струму, такого як однофазний (однополюсний) дотик, двофазний (двополюсний) дотик або дотик до металевих неструмовідних частин, що перебувають під напругою.
- h. Можливості наближення до струмовідних частин, що перебувають під напругою, на відстань, меншу за допустиму, або попадання в зону розтікання струму.
- i. Видів робіт, таких як монтаж, налагодження, випробування, експлуатація електроустаткування, що виконуються у зоні його розташування, а також у зоні повітряних ліній електропередачі.

Вимоги щодо безпеки при користуванні побутовим електроустаткуванням повинні бути вказані в інструкціях виробників, що додаються до виробів.

Під час виконання робіт з відключення напруги у працюючому електроустаткуванні необхідно виконати такі дії:

- ◆ Забезпечити необхідні вимкнення та заходи, що перешкоджають помилковому або самовільному ввімкненню комутаційного обладнання.
- ◆ Вивісити заборонні плакати на ручних приводах та ключах дистанційного керування комутаційним обладнанням.
- ◆ Перевірити відсутність напруги на струмовідних частинах, які потрібно заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом.
- ◆ Встановити заземлення (увімкнути заземлювальні ножі, встановити переносні заземлення) і вивісити вказівні плакати.
- ◆ Огородити, якщо потрібно, робоче місце або струмовідні частини, які залишилися під напругою, та вивісити плакати щодо безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огорожують перед або після їх заземлення.

#### 3.4.5 Номенклатура видів захисту

Існує кілька видів заходів, які застосовуються для захисту від випадкового дотику до струмовідних частин. Деякі з них можуть бути

використані окремо або в поєднанні один з одним, залежно від ситуації, для забезпечення оптимального рівня захисту. Деякі з цих заходів включають:

- ◆ Основне (робоче) ізолювання струмовідних частин, таке як захисна ізоляція, яка запобігає прямому контакту зі струмом.
- ◆ Додаткове, посилене або подвійне ізолювання струмовідних частин, яке надає додатковий шар захисту.
- ◆ Захисні оболонки, які фізично відокремлюють струмовідні частини від зовнішнього середовища.
- ◆ Захисні огорожі, які можуть бути тимчасовими або постійними, і забезпечують фізичний бар'єр між людиною та струмовідними частинами.
- ◆ Безпечне розташування струмовідних частин, що означає їх розміщення у такий спосіб, щоб мінімізувати можливість дотику до них.
- ◆ Ізолювання робочого місця, таке як використання ізольованих підлог, стін або робочих поверхонь для уникнення контакту зі струмовідними частинами.
- ◆ Застосування малої напруги, що передбачає зниження напруги до безпечного рівня.
- ◆ Захисне вимкнення, яке автоматично відключає живлення у випадку виявлення небезпеки.
- ◆ Попереджувальна сигналізація, така як звукові або світлові сигнали, які попереджають про наявність небезпеки.
- ◆ Блокування, що запобігає ненавмисному або некваліфікованому доступу до струмовідних частин.
- ◆ Встановлення знаків безпеки, які надають інформацію про потенційні небезпеки.

- ◆ Електрозахисні засоби, такі як ізолюючі рукавички, окуляри або ковзні мати, які забезпечують індивідуальний захист.
- ◆ Засоби індивідуального захисту, які використовуються для запобігання контакту зі струмом, наприклад, захисні костюми або головні убори.

Вимоги до цих технічних видів захисту встановлюються відповідними стандартами і технічними умовами. [18]



## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- Аналіз датчиків показав, що більш оптимальним варіантом датчику руху для запропонованої розробки є оптичний, а саме інфрачервоний датчик.
- Розроблено бюджетний та малогабаритний електронний музичний інструмент на основі мікроконтролера ATmega16-16PU, що створює звуки за допомогою електромагнітної хвилі, яка генерується за допомогою взаємодії рук музиканта з антенною.
- Програма для мікроконтролера написана на мові C в середовищі WinAVR (AVR Toolchain), що входить до складу IDE AVR Studio v4.19. Розрахований середній час безвідмовної роботи складає 34 роки, побудований графік імовірності безвідмовної пристрою.
- Рекомендується застосовувати електронний музичний інструмент при створенні музичних творів для кінофільмів, вистав де потрібно відтворити незвичні та цікаві звуки. Також може використовуватися в реабілітаційних медичних закладах в курсі музикотерапії.

Результати роботи обговорювались на XI Міжнародній науково-практичній конференції «MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE» у м. Львів 29-31 січня 2023 року.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. The Importance of Music in Our Daily Lives Essay [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/rNFqiM> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
2. Sensor By Robert Sheldon [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/7mzah7> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
3. Sensors for daily life: A review [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/3O8Rcm> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
4. Types of Sensors with Their Circuit Diagrams [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/SIVdSH> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
5. Types of Sensors - A Complete Guide [Електронний ресурс]: URL: <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/types-of-sensors/> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
6. Sensor Basics: Classification, Working Principle and Application [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/7TtS4Z> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
7. The accuracy of a sensor [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/O7x2bC> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
8. What is sensor calibration and why is it important? [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/STTCeR> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
9. Environmental Sensing - What Impact Can it Have? [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/oQJrp3> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
10. Терменвокс: що це таке, як працює інструмент, хто винайшов, види, звучання, історія [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/0hq5K> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.

11. "Introduction to Electronic Components." All About Circuits. [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/gPKypJ> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
12. Jo, J.; Kim, D.; Hejazi, A.; Pu, Y.; Jung, Y.; Huh, H.; Kim, S.; Yoo, J.-M.; Lee, K.-Y. Low Phase-Noise, 2.4 and 5.8 GHz Dual-Band Frequency Synthesizer with Class-C VCO and Bias-Controlled Charge Pump for RF Wireless Charging System in 180 nm CMOS Process. Electronics 2022, 11, 1118. [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/RKiZTh> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
13. Create a simple circuit layout inside AutoCAD [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/gB3c1y> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
14. 10.6: RC Circuits - Physics LibreTexts [Електронний ресурс]: URL: <https://is.gd/DUK5JY> Дата доступу: червень 2023. – Назва з екрана.
15. ДСТУ 7238:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація.
16. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. – [Чинний від 01.12.2007] – (ДСТУ (Державний Стандарт України))
17. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартів безпеки праці. Пожежовибухобезпека статичної електрики. Загальні вимоги. – [Чинний від 01.01.1998] – (ГОСТ (Міждержавний стандарт.))
18. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту – [Чинний від 01.08.2011] – (ДСТУ (Державний Стандарт України))





**ТЕРМЕНВОКС НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА АТМЕГА16-16PU**

**Щербань Артем Андрійович,**  
студент кафедри електроніки,  
інформаційних системи та програмного  
забезпечення

[schart1337@gmail.com](mailto:schart1337@gmail.com)

**Небеснюк Оксана Юріївна,**

к.т.н., доцент, доцент кафедри  
електроніки, інформаційних системи та  
програмного забезпечення

[0811oksana@gmail.com](mailto:0811oksana@gmail.com)

Інженерний навчально-науковий інститут  
ім. Ю. М. Потебні  
Запорізький національний університет  
м. Запоріжжя, Україна

**Актуальність.** Музичний інструмент, його актуальність визначити важко, оскільки це залежить від конкретного жанру та стилю музики, а також від наявності інших подібних інструментів. Деякі музиканти та композитори можуть вважати унікальне звучання та можливості Termenvox цінним доповненням до їх роботи, тоді як інші можуть не мати від нього ніякої користі. Взагалі актуальність будь-якого музичного інструменту, в тому числі терменвокса, постійно змінюється в міру того, як розвиваються нові технології та інструменти, змінюються уподобання музикантів і аудиторії.

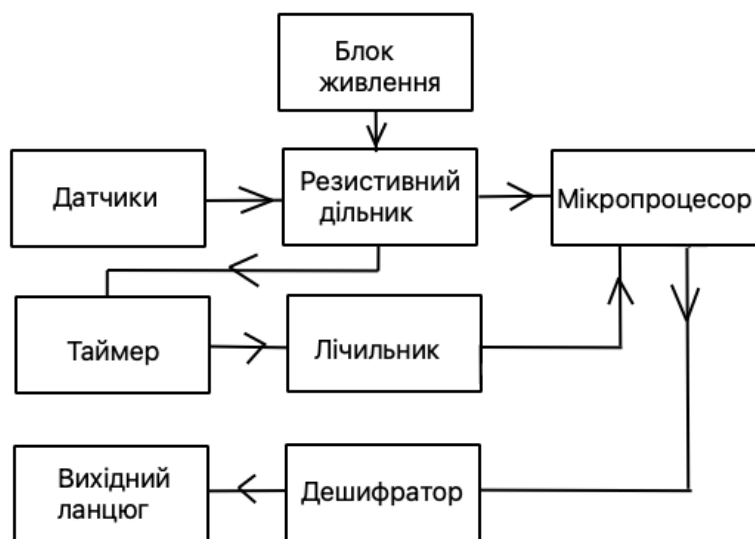
**Мета.** Розробити терменвокс на базі мікроконтролера АТМЕГА16-16PU.

**Матеріали та методи./Materials and methods.** Терменвокс - електронний музичний інструмент, на якому грають не торкаючись його поверхні. Це можливо завдяки двом антенам, що отримують інформацію про розміщення рук терменіста. Одна з антен керує коливаннями (частотою звуку), інша — амплітудою (гучність інструмента). Отримані електричні сигнали з терменвоксу подаються на динамік через підсилювач коливань, що утворюються одним або декількома опорними генераторами.

Головною частиною терменвокса є два високочастотні коливальні контури, настроєні на спільну частоту. Електричні коливання звукових частот створюються генератором на електронних лампах, сигнал пропускається через підсилювач і перетворюється гучномовцем у звук. Виконавець керує роботою терменвокса, змінюючи положення долонь навколо антен інструменту. Рухаючи рукою навколо стрижня, виконавець регулює висоту звуку, жестикулювання навколо дуги дозволяє впливати на

гучність. За рахунок зміни відстані долонь музиканта до антени інструмента змінюється індуктивність коливального контуру, і, як наслідок, частота звуку.

**Результати та обговорення./Results and discussion.** Практика показує, що коли навколо інструменту, який має досить об'ємну зону чутливості, збираються кілька відвідувачів і намагаються керувати ним одночасно, результат буває непередбачуваним. Тому авторами запропоновано конструкцію музичного інструменту, в якій цей недолік усунуто. Замість антен і генераторів з коливальними контурами використані триангуляційні інфрачервоні датчики відстані (далекоміри) GP2Y0A41SK і GP2Y0A21. Структурна схема приладу представлена на рис.1.



**Рис.1. Структурна схема терменвоксу**

Інструмент відтворює ноти кількох октав. Як і в класичному терменвоксі, один датчик (з великим максимальним вимірюваним відстанню) задає висоту тону формованого звуку, другий - його гучність. Сигнали датчиків обробляє і перетворює в звуковий сигнал мікроконтролер. Схема терменвокса виконана на мікроконтролері ATmega16-16PU, тактова частота якого (16 МГц) стабілізована кварцовим резонатором, тому частоти нот мають високу стабільність. Програма для мікроконтролера написана на мові C в середовищі WinAVR (AVR Toolchain). Керують інструментом двома руками. Правою рукою задають тон звуку, лівої - його гучність.

**Висновки./Conclusions.** Запропонований прилад має ряд переваг перед існуючими аналогами: характеризується високою точністю відтворення рухів терменіста; має просте налаштування, компактні розміри і відносно малу собівартість.

# CERTIFICATE

is awarded to

**Shcherban Artem**

for being an active participant in  
XI International Scientific and Practical Conference

## “MODERN RESEARCH IN WORLD SCIENCE”

24 Hours of Participation

(0,8 ECTS credits)

**LVIV**

29-31 January 2023



[sci-conf.com.ua](http://sci-conf.com.ua)