

**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 ультразвукового приладу для контролю якості палива ”

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)

Науменко М.С.

(ініціали та прізвище)

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

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

Рецензент генеральний директор ТОВ «Омега,  
ЛТД» Шевченко Тамара Василівна

(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**

Науменко Михайлу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка ультразвукового приладу для контролю якості палива

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:  $U_{роб} \leq 25,09В, C_{вх} =$

$0,1 мкФ, I_n = 0,78 А, f_c = 50Гц$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Ультразвук. Аналіз методів контролю якості палива 2 Розробка приладу для визначення октанового числа бензину 3 Охорона праці та техногенна безпека

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи бакалавра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
I	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	10.03.2023
II	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	10.05.2023
III	<i>Небеснюк О.Ю.</i>	30.05.2023

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>	01.03.23 - 10.03.	
2	<i>Аналіз та класифікація пристроїв для визначення якості палива</i>	10.03. -20.03.	
3	<i>Розробка структурної схеми пристрою</i>	20.03. -07.04.	
4	<i>Розрахунок елементів, вибір елементної бази</i>	07.04. -20.04.	
5	<i>Розробка схеми електричної принципової</i>	20.04. -30.04.	
6	<i>Розрахунок надійності пристрою</i>	30.04. -10.05.	
7	<i>Розділ охорони праці та техногенної безпеки</i>	10.05. -16.05.	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки, виконання креслень</i>	16.05. -30.05.	

Студент \_\_\_\_\_ Науменко М.С.  
( 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 74 сторінки, 10 рисунків, 2 таблиці, 15 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – прилади для визначення контролю якості палива.

Мета роботи – розробка ультразвукового приладу для визначення октанового числа.

Задачі роботи: розробка структурної схеми, розрахунок та вибір елементної бази, розробка схеми електричної принципової, виконання складального креслення.

Методика досліджень – моделювання пристрої за допомогою програмного забезпечення AutoCad.

Короткий виклад результатів досліджень – розроблено бюджетний, екологічний прилад, що дозволяє визначити октанове число палива в режимі реального часу, має невеликі габаритні розміри 65 × 107 та відносно малу собівартість.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша модернізація приладу для контролю якості палива з метою підвищення ергономічності та більшої інформативності.

**ПАЛИВО, ОКТАНОВЕ ЧИСЛО, УЛЬТРАЗВУК, ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, МІКРОСХЕМА, НАДІЙНІСТЬ, СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ.**

Кваліфікаційна робота виконана в Інженерному навчально-науковому інституті ім. Ю. М. Потебні, ЗНУ на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення в період з 01.09.2022 по 26.05.2023.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 УЛЬТРАЗВУК. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ ЯКОСТІ ПАЛИВА.....	7
1.1 Основні параметри ультразвуку .....	7
1.2 Різновиди ультразвукових хвиль .....	9
1.3 Інтенсивність та потужність ультразвуку.....	10
1.4 Згасання ультразвуку .....	13
1.5 Відображення ультразвуку від межі поділу середовищ.....	16
1.6 Інтерференція та дифракція ультразвукових хвиль.....	17
1.7 Випромінювачі ультразвуку.....	18
1.8 Характеристики випромінювача ультразвуку.....	19
1.9 Звукове поле випромінювача .....	21
1.10 Огляд існуючих методів контролю якості палива .....	23
1.11 Обґрунтування вибору методу вимірювання .....	24
1.12 Аналіз існуючих ультразвукових вимірювачів .....	25
2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ .....	28
2.1 Розробка структурної схеми приладу .....	28
2.2 Розробка схеми електричної принципової.....	31
2.3 Розрахунок навантажувального резистора для світлодіода.....	35
2.4 Розрахунок та розробка друкованої плати.....	36
2.5 Організація електричного живлення .....	45
3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА .....	54

3.1 Вимоги до безпеки праці .....	54
3.2 Вимоги до промсанітарії.....	57
3.3 Вимоги до пожежної безпеки .....	61
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	66
ДОДАТОК А .....	69
ДОДАТОК Б .....	72

## ВСТУП

Застосування ультразвукових вимірювачів октанового числа бензину є дуже важливим для виробників палива та автомобілів, а також для дослідницьких лабораторій, які займаються розробкою нових типів палива та двигунів. Вони дозволяють більш точно визначити октанове число бензину та забезпечують більш швидкий та ефективний процес контролю якості палива.

Зокрема, ультразвукові вимірювачі дозволяють визначити октанове число палива в режимі реального часу, що дає змогу оперативно реагувати на зміни в якості палива та підтримувати його на потрібному рівні. Крім того, вони дозволяють знизити витрати на тестування та скоротити час на дослідження палива, що є важливим для підвищення ефективності виробництва та зменшення витрат на дослідження.

Також важливим фактором є те, що ультразвукові вимірювачі октанового числа бензину є більш екологічними, оскільки вони не потребують використання шкідливих речовин та не створюють відходів, що можуть негативно впливати на довкілля.

У підсумку, можна сказати, що ультразвукові вимірювачі октанового числа бензину є актуальними та важливими інструментами для контролю якості палива. Вони забезпечують більш точні результати, що допомагає зменшити витрати на тестування, забезпечити безпеку на дорозі, зменшити вплив автомобілів на навколишнє середовище та збільшити ефективність використання палива. [1]

# 1 УЛЬТРАЗВУК. АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЯ ЯКОСТІ ПАЛИВА

## 1.1 Основні параметри ультразвуку

Основними параметрами хвилі є довжина хвилі та період. Число циклів скоєних за секунду називається частотою і вимірюється в Герцах (Гц). Час, потрібний щоб здійснити повний цикл, називається періодом і вимірюється в секундах. Взаємозв'язок між частотою та періодом хвилі наведено у формулі:

$$f = \frac{1}{T},$$

где  $f$  – частота, Гц,

$T$  – період, с

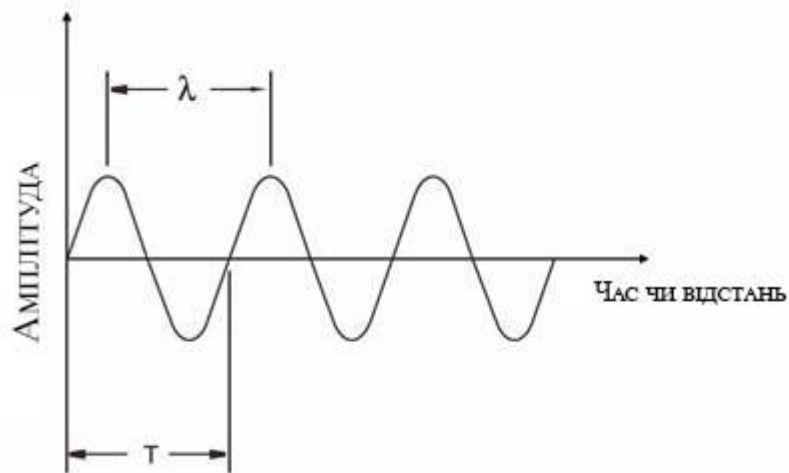


Рисунок 1.1 – Основні параметри ультразвукової хвилі



Швидкість звуку в ідеальному пружному матеріалі при заданій температурі та тиску є постійною. Зв'язок між швидкістю ультразвуку та довжиною хвилі наступний:

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі, м,

$c$  – швидкість звуку, м/с

У твердих речовинах для поздовжніх хвиль швидкість звуку

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}},$$

де  $c_l$  – швидкість звуку для поздовжніх хвиль, м/с,

$E$  – модуль пружності, Па,

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона,

$\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>

Для поперечних хвиль вона визначається за формулою

$$c_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

де  $c_t$  – швидкість звуку для поперечних хвиль, м/с,

$G$  – модуль зсуву, Па

Дисперсія звуку – залежність фазової швидкості монохроматичних звукових хвиль від частоти. Дисперсія швидкості звуку може бути

обумовлена як фізичними властивостями середовища, так і присутністю в ній сторонніх включень та наявністю меж тіла, в якому поширюється звукова хвиля. [2]

## 1.2 Різновиди ультразвукових хвиль

Більшість методів ультразвукового дослідження використовує або поздовжні або поперечні хвилі. Також існують інші форми поширення ультразвуку, включаючи поверхневі хвилі та хвилі Лемба.

- Поздовжні ультразвукові хвилі – хвилі, напрямком поширення яких збігається з напрямком зсувів і швидкостей частинок середовища.
- Поперечні ультразвукові хвилі – хвилі, що розповсюджуються в напрямку, перпендикулярному до площини, в якій лежать напрями зсувів і швидкостей частинок тіла, те саме, що і хвилі зсуву.
- Поверхневі (Релеївські) ультразвукові хвилі мають еліптичний рух частинок і поширюються поверхнею матеріалу. Їх швидкість становить приблизно 90% швидкості поширення поперечної хвилі, а їх проникнення вглиб матеріалу дорівнює приблизно одній довжині хвилі.
- Хвиля Лемба – пружна хвиля, що поширюються в твердій пластині (шарі) з вільними межами, в якій коливальне зміщення частинок відбувається як у напрямку поширення хвилі, так і перпендикулярно до площини пластини. Лемба хвилі є одним із типів нормальних хвиль у пружному хвилеводі – у пластині з вільними кордонами.

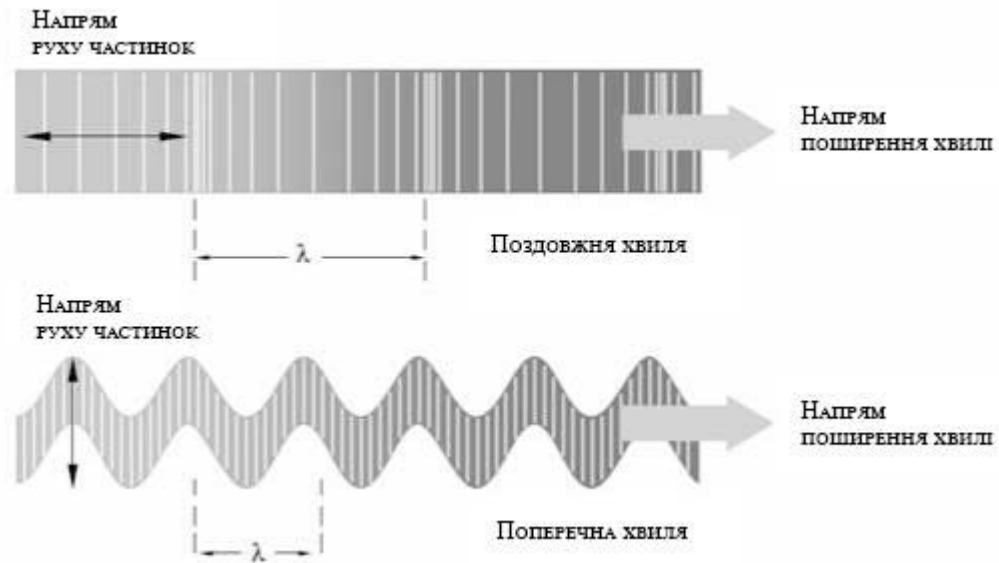


Рисунок 1.2 – Рух частинок у поздовжніх та поперечних ультразвукових хвилях [3]

Так як ці хвилі повинні задовольняти рівнянням теорії пружності і граничним умовам на поверхні пластини, картина руху і властивості складніші, ніж у хвиль в необмежених твердих тілах. [3]

### 1.3 Інтенсивність та потужність ультразвуку

Інтенсивність звуку (сила звуку) — середня за часом енергія, що переноситься звуковою хвилею через одиничний майданчик, перпендикулярний напрямку поширення хвилі, в одиницю часу. Для періодичного звуку усереднення проводиться або за проміжок часу великий у порівнянні з періодом або за ціле число періодів. Інтенсивність ультразвуку – величина, що виражає потужність акустичного поля у точці .

Для плоскої синусоїдальної хвилі, що біжить, інтенсивність ультразвуку  $I$  визначається за формулою [4]:

$$I = \frac{pv}{2} = \frac{p^2}{2\rho c} = \frac{v^2 \rho c}{2},$$

де  $p$  - амплітуда звукового тиску, Па

$v$  - амплітуда коливальної швидкості частинок, м/с

$\rho$  - густина середовища, кг/м<sup>3</sup>

$c$  - швидкість звуку, м/с

У сферичній хвилі, що біжить інтенсивність ультразвуку назад пропорційна квадрату відстані від джерела. У стоячій хвилі  $I = 0$ , тобто потоку звукової енергії в середньому немає. Інтенсивність ультразвуку в гармонійній плоскій хвилі, що біжить, дорівнює щільності енергії звукової хвилі, помноженої на швидкість звуку. Потік звукової енергії характеризують так званим вектором. Вектором щільності потоку енергії звукової хвилі, який можна представити як добуток інтенсивності ультразвуку на вектор хвильової нормалі, тобто одиничний вектор, перпендикулярний фронту хвилі. Якщо звукове поле є суперпозицією гармонійних хвиль різної частоти, то для вектора середньої щільності потоку звукової енергії має місце адитивність складових.

Для випромінювачів, що створюють плоску хвилю, говорять про інтенсивність випромінювання, розуміючи під цим питому потужність випромінювача, тобто випромінювану потужність звуку, віднесену до одиниці площі поверхні, що випромінює.

Інтенсивність звуку вимірюється у системі одиниць СІ у Вт/м<sup>2</sup>. В ультразвуковій техніці інтервал зміни інтенсивності ультразвуку дуже великий - від порогових значень  $\sim 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup> до сотень кВт/м<sup>2</sup> у фокусі ультразвукових концентраторів.

Потужність звуку - енергія, що передається звуковою хвилею через поверхню, що розглядається в одиницю часу. Розрізняють миттєве значення потужності ультразвуку та середнє за період або за тривалий час. Найбільший інтерес становить середнє значення потужності ультразвуку, віднесене до одиниці площі, т.з. середня питома потужність звуку, або інтенсивність звуку.

Таблиця 1.1 – Властивості деяких поширених матеріалів [4]

Матеріал	Щільність кг/м <sup>3</sup>	Швидкість поздовжньої хвилі, м/с	Швидкість поперечної хвилі, м/с	Акустичний імпеданс, 10 <sup>3</sup> кг/(м <sup>2</sup> *с)
Акрил	1180	2670	-	3,15
Повітря	0,1	330	-	0,00033
Алюміній	2700	6320	3130	17,064
Латунь	8100	4430	2120	35,883
Мідь	8900	4700	2260	41,830
Скло	3600	4260	2560	15,336
Нікель	8800	5630	2960	49,544
Поліамід	1100	2620	1080	2,882
Сталь	7850	5940	3250	46,629
Титан	4540	6230	3180	26,284
Вольфрам	19100	5460	2620	104,286

#### 1.4 Згасання ультразвуку

Однією з основних характеристик ультразвуку є його згасання. Згасання ультразвуку – це зменшення амплітуди і, отже, інтенсивності звукової хвилі у міру її поширення. Згасання ультразвуку відбувається через низку причин. Основними з них є:

- спад амплітуди хвилі з відстанню від джерела, обумовлене формою і хвильовими розмірами джерела;
- розсіювання ультразвуку на неоднорідностях середовища, внаслідок чого зменшується потік енергії у початковому напрямі поширення;
- поглинання ультразвуку, тобто. незворотний перехід енергії звукової хвилі в інші форми, зокрема тепло.

Перша з цих причин пов'язана з тим, що в міру поширення хвилі від точкового або сферичного джерела енергія, випромінювана джерелом, розподіляється на поверхню хвильового фронту, що все збільшується, і відповідно зменшується потік енергії через одиницю поверхні, тобто. інтенсивність звуку. Для сферичної хвилі, хвильова поверхня якої росте з відстанню  $r$  від джерела як  $r^2$  амплітуда хвилі зменшується пропорційно  $r^{-1}$ , а для циліндричної хвилі - пропорційно  $r^{-1/2}$ .

Розсіювання ультразвуку відбувається через різку зміну властивостей середовища – її щільності та модулів пружності – на межі неоднорідностей, розміри яких можна порівняти з довжиною хвилі. У газах це можуть бути, наприклад, рідкі краплі, у водному середовищі — бульбашки повітря, у твердих тілах — різні сторонні включення або окремі кристаліти в полікристалах тощо.

Поглинання ультразвуку може бути зумовлене різними механізмами. Велику роль відіграє в'язкість та теплопровідність середовища, взаємодія

хвилі з різними молекулярними процесами речовини, з тепловими коливаннями кристалічних ґрат та ін.

Зтухання звуку, обумовлене розсіюванням і поглинанням, описується експоненціальним законом зменшення амплітуди з відстанню, тобто амплітуда пропорційна  $e^{-\delta r}$ , а інтенсивність -  $e^{-2\delta r}$  на відміну від статичного закону зменшення амплітуди при розбіжності звуку.

Коефіцієнт згасання виражають або децибелах на метр (дБ/м), або в неперах на метр (Нп/м).

Для плоскої хвилі коефіцієнт загасання по амплітуді з відстанню визначається за такою формулою

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left( \frac{p(0)}{p(L)} \right),$$

де - коефіцієнт загасання з відстанню, 1/м,

$L$  - відстань, м,

$p(0)$ ,  $p(L)$  – амплітуда звукового тиску у вихідній точці та на відстань

$L$ , Па

Коефіцієнт згасання від часу визначається

$$\beta = \frac{1}{T} \ln \left( \frac{p(0)}{p(T)} \right),$$

де - коефіцієнт загасання від часу, 1/с,

$T$  - час, с,

$p(0)$ ,  $p(T)$  – амплітуда звукового тиску на початку та через час  $T$

відповідно, Па

Для вимірювання коефіцієнта також використовують одиницю дБ/м, у разі

$$\alpha = \frac{1}{L} 20 \lg \left( \frac{p(0)}{p(L)} \right),$$

Децибел (дБ) – логарифмічна одиниця виміру відношення енергій чи потужностей в акустиці.

$$db = 20 \lg \left( \frac{A_1}{A_2} \right),$$

де  $A_1$  - амплітуда першого сигналу,

$A_2$  – амплітуда другого сигналу

Тоді зв'язок між одиницями виміру (дБ/м) та (1/м) буде:

$$\alpha \left( \frac{\text{дБ}}{\text{м}} \right) = 8,686 \alpha \left( \frac{1}{\text{м}} \right),$$

Коефіцієнт згасання виражається або в децибелах на метр (дБ/м), або в неперах на метр (Нп/м) або що саме  $m^{-1}$ . Згасання в 1 Нп/м означає, що на відстані 1м амплітуда хвилі зменшується в  $e$  раз ( $e = 2,71$  - основа натуральних логарифмів або число непера). [5]

$$1 \text{ Нп/м} = 8,68 \text{ дБ/м}$$



### 1.5 Відображення ультразвуку від межі поділу середовищ

При падінні звукової хвилі на межу розділу середовищ частина енергії буде відображатися в першу середу, а решта енергія проходитиме в другу середу. Співвідношення між відображеною енергією та енергією, що проходить у друге середовище, визначається хвильовими опорами першого та другого середовища. За відсутності дисперсії швидкості звуку хвильовий опір залежить від форми хвилі і виражається формулою:

$$Z = \rho c,$$

де  $Z$  - хвильовий опір, кг/(м<sup>2</sup>с),

$\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>,

$c$  – швидкість звуку, м/с

Коефіцієнти відображення та проходження будуть визначатися таким чином

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1},$$

де  $R$  - коефіцієнт відображення звукового тиску,

$Z_1$  – хвильовий опір першої речовини, в якій поширюється звукова хвиля, кг/(м<sup>2</sup>с),

$Z_2$  - хвильовий опір другої речовини, в яку проходить звукова хвиля, кг/(м<sup>2</sup>с)

$$D = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1},$$

де  $D$  – коефіцієнт проходження звукового тиску

Варто зазначити також, що й друге середовище акустично «м'якше», тобто.  $Z_1 > Z_2$  то при відображенні фаза хвилі змінюється на  $180^\circ$ .

Коефіцієнт пропускання енергії з одного середовища в інше визначається ставленням інтенсивності хвилі, що проходить у друге середовище, до інтенсивності падаючої хвилі [6]

$$\tau = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

### 1.6 Інтерференція та дифракція ультразвукових хвиль

Інтерференція звуку- нерівномірність просторового розподілу амплітуди результуючої звукової хвилі в залежності від співвідношення між фазами хвиль, що складаються в тій чи іншій точці простору. При складанні гармонійних хвиль однакової частоти результуючий просторовий розподіл амплітуд утворює інтерференційну картину, що не залежить від часу, яка відповідає зміні різниці фаз складових хвиль при переході від точки до точки. Для двох інтерферуючих хвиль ця картина на площині має вигляд смуг посилення, що чергуються, і ослаблення амплітуди величини, що характеризує звукове поле (наприклад, звукового тиску). Для двох плоских хвиль смуги прямолінійні з амплітудою, що змінюється поперек смуг відповідно до зміни різниці фаз. Важливий окремий випадок інтерференції - складання плоскої хвилі з її відображенням від плоского кордону;

Дифракція звуку – відхилення поведінки звуку від законів геометричної акустики, обумовлене хвильовою природою звуку. Результат дифракції звуку - розходження ультразвукових пучків при віддаленні від випромінювача або після проходження через отвір в екрані, загинання

звукових хвиль в область тіні позаду перешкод, великих у порівнянні з довжиною хвилі, відсутність тіні позаду перешкод, малих порівняно з довжиною хвилі, і т.д. п. Звукові поля, створювані дифракцією вихідної хвилі на перешкодах, поміщених у середу, на неоднорідностях самого середовища, а також на нерівностях і неоднорідності меж середовища, називаються розсіяними полями. Для об'єктів, на яких відбувається дифракція звуку, більших у порівнянні з довжиною хвилі  $\lambda$ , ступінь відхилень від геометричної картини залежить від значення хвильового параметра

$$P = \frac{\sqrt{\lambda r}}{D},$$

де  $D$  - діаметр об'єкта (наприклад, діаметр ультразвукового випромінювача або перешкоди),

$r$  - відстань точки спостереження від цього об'єкта [7]

### 1.7 Випромінювачі ультразвуку

Випромінювачі ультразвуку - пристрої, що застосовуються для збудження ультразвукових коливань та хвиль у газоподібних, рідких та твердих середовищах. Випромінювачі ультразвуку перетворюють на енергію звукового поля енергію будь-якого іншого виду.

Найбільшого поширення як випромінювачів ультразвуку отримали електроакустичні перетворювачі. У переважній більшості випромінювачів ультразвуку цього типу, а саме в п'єзоелектричних перетворювачах, магнітострикційних перетворювачах, електродинамічних випромінювачах, електромагнітних та електростатичних випромінювачах, електрична енергія

перетворюється на енергію коливань будь-якого твердого тіла (випромінюючої пластинки, стрижня, діафрагми тощо), яке і випромінює в довкілля акустичні хвилі. Всі перелічені перетворювачі, як правило, лінійні, і, отже, коливання випромінюючої системи відтворюють формою збуджуючий електричний сигнал; Тільки при великих амплітудах коливань поблизу верхньої межі динамічного діапазону випромінювача ультразвуку можуть виникнути нелінійні спотворення.

У перетворювачах, призначених для випромінювання монохроматичної хвилі, використовується явище резонансу: вони працюють на одному зі своїх коливань механічної коливальної системи, на частоту якого налаштовується генератор електричних коливань, що збуджує перетворювач. Електроакустичні перетворювачі, що не володіють твердотільною випромінюючою системою, застосовуються як випромінювачі ультразвуку порівняно рідко; до них відносяться, наприклад, випромінювачі ультразвуку, засновані на електричному розряді в рідині або електрострикції рідини. [8]

### 1.8 Характеристики випромінювача ультразвуку

До основних характеристик випромінювачів ультразвуку відносяться їх частотний спектр, потужність звуку, що випромінюється, спрямованість випромінювання. У разі моночастотного випромінювання основними характеристиками є робоча частота випромінювача ультразвуку та його частотна смуга, межі якої визначаються падінням випромінюваної потужності удвічі проти її значення на частоті максимального випромінювання. Для резонансних електроакустичних перетворювачів робочою частотою є власна частота  $f_0$  перетворювача, а ширина смуги  $\Delta f$  визначається його добротністю  $Q$ .

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q},$$

Випромінювачі ультразвуку (електроакустичні перетворювачі) характеризуються чутливістю, електроакустичним коефіцієнтом корисної дії та власним електричним імпедансом.

Чутливість випромінювача ультразвуку - відношення звукового тиску в максимумі характеристики спрямованості на певній відстані від випромінювача (найчастіше на відстані 1 м) до електричної напруги на ньому або до струму, що протікає в ньому. Ця характеристика застосовується до випромінювачів ультразвуку, що використовуються в системах звукової сигналізації, гідролокації та інших подібних пристроях. Для випромінювачів технологічного призначення, що застосовуються, наприклад, при ультразвуковому очищенні, коагуляції, впливі на хімічні процеси, основною характеристикою є потужність. Поряд із загальною випромінюваною потужністю, що оцінюється в Вт, випромінювачі ультразвуку характеризують питомою потужністю, Т.е. середньою потужністю, що припадає на одиницю площі випромінюючої поверхні, або усередненою інтенсивністю випромінювання в ближньому полі, що оцінюється в Вт/м<sup>2</sup>.

Ефективність електроакустичних перетворювачів, що випромінюють акустичну енергію в середовище, що озвучується, характеризують величиною їх електроакустичного коефіцієнта корисної дії, Що являє собою відношення випромінюваної акустичної потужності до електричної, що витрачається. В акустoeлектроніці для оцінки ефективності випромінювачів ультразвуку використовують так званий коефіцієнт електричних втрат, що дорівнює відношенню (дБ) електричної потужності до акустичної. Ефективність ультразвукових інструментів, що використовуються при

ультразвуковому зварюванні, механічній обробці тощо, характеризують так званим коефіцієнтом ефективності, що є відношенням квадрата амплітуди коливального зміщення на робочому кінці концентратора до електричної потужності, що споживається перетворювачем. Іноді для характеристики перетворення енергії у випромінювачі ультразвуку використовують ефективний коефіцієнт електромеханічного зв'язку [9].

### 1.9 Звукове поле випромінювача

Звукове поле перетворювача поділяють на дві зони: ближню та дальню зону. Близька зона це район прямо перед перетворювачем, де амплітуда луни проходить через серію максимумів та мінімумів. Близька зона закінчується на останньому максимумі, що розташовується на відстані  $N$  від перетворювача. Відомо, що розташування останнього максимуму є природним фокусом перетворювача. Далека зона це район, що знаходиться за  $N$ , де тиск звукового поля поступово зменшується до нуля.

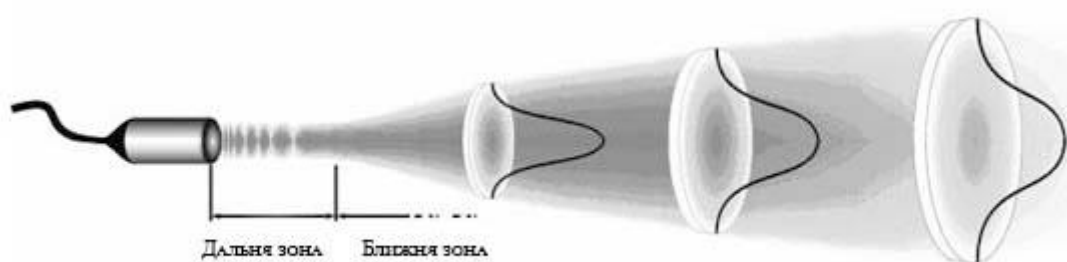


Рисунок 1.3 – Звукове поле круглого випромінювача

Положення останнього максимуму  $N$  на акустичній осі у свою чергу залежить від діаметра та довжини хвилі і для дискового круглого випромінювача виражається формулою

$$N = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda},$$

де  $N$  - Довжина ближньої зони, м,

$D$  – діаметр випромінювача, м,

$\lambda$  – довжина хвилі, м

Однак оскільки  $D$  зазвичай значно більше, рівняння можна спростити і привести до вигляду

$$N = \frac{D^2}{4\lambda},$$

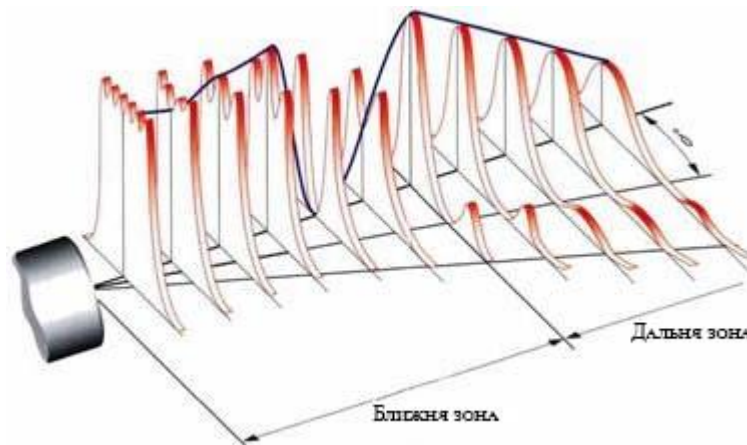


Рисунок 1.4 – Ближня та далека зони звукового поля

Характеристики звукового поля визначаються конструкцією ультразвукового перетворювача. Отже, від його форми залежить поширення звуку в області, що досліджується, і чутливість датчика. [10]

### 1.10 Огляд існуючих методів контролю якості палива

На сьогоднішній день існує кілька методів контролю якості палива: хроматографічний, спектральний, віскозиметричний та інші.

- Хроматографічний метод є одним з найточніших і точних методів контролю якості палива. Він заснований на розділенні компонентів палива з використанням хроматографічної колонки та детектора. Цей метод дозволяє точно визначати склад палива, включаючи кількість октанових чисел.

- Спектральний метод також широко використовується для контролю якості палива. Він заснований на аналізі електромагнітного випромінювання, яке випромінюється паливом при певних умовах. Цей метод забезпечує можливість аналізу великої кількості компонентів, але може бути менш точним, ніж хроматографічний метод.

- Віскозиметричний метод використовується для вимірювання в'язкості палива. Цей метод заснований на вимірюванні рівномірної швидкості руху палива через віскозиметр. Хоча цей метод може бути менш точним, ніж інші методи, він все ще забезпечує достатню точність для більшості застосувань.

- Ультразвуковий метод контролю якості палива став досить популярним останнім часом, особливо для вимірювання октанового числа бензину. Цей метод заснований на вимірюванні швидкості поширення ультразвукової хвилі в паливі. Його перевагами є висока точність, швидкість вимірювання та можливість дистанційного вимірювання, що дозволяє здійснювати контроль якості палива без необхідності відвідування спеціальних лабораторій. До інших переваг ультразвукового методу вимірювання якості палива можна віднести його неінвазивність, тобто вимірювання проводиться без втручання в



паливний потік. Це зменшує ризик забруднення палива і дозволяє зберігати його в первинному стані.

Недоліками ультразвукового методу можуть бути певні обмеження щодо вимірювання високих температур та високих рівнів тиску в паливному потоці. Також, для використання ультразвукового методу контролю якості палива необхідно використовувати спеціальні прилади, які можуть бути дорожчими за інші методи контролю.

В цілому, ультразвуковий метод контролю якості палива є ефективним і точним методом вимірювання. Його переваги значно переважають недоліки, і тому він є популярним серед виробників палива та автомобілів.  
[11]

### 1.11 Обґрунтування вибору методу вимірювання

Метод вимірювання з використанням ультразвуку відповідає вимогам вимірювання октанового числа бензину і має декілька переваг:

- **Неінвазивність:** Ультразвукові вимірювачі не пошкоджують вимірювані зразки, що дозволяє проводити вимірювання без зниження якості продукту. Це особливо важливо для дослідження зразків бензину, які після вимірювання повинні залишатися неушкодженими для подальшої експлуатації.
- **Висока точність:** Ультразвукові вимірювачі мають високу точність вимірювання октанового числа бензину, що дозволяє отримувати точні результати з меншими похибками, ніж у інших методів вимірювання.

- Швидкість: Ультразвукові вимірювачі дозволяють проводити вимірювання швидко, що забезпечує ефективність і зручність вимірювання октанового числа бензину в реальному часі.

- Невисока вартість: В порівнянні з іншими методами вимірювання, ультразвуковий метод є досить економічним і доступним для застосування в лабораторних умовах.

Отже, використання ультразвукового методу вимірювання октанового числа бензину обґрунтовано з точки зору високої точності, швидкості та невисокої вартості вимірювання, а також з міркувань збереження якості вимірюваних зразків. [12]

### 1.12 Аналіз існуючих ультразвукових вимірювачів

Існує безліч ультразвукових вимірювачів, кожен з яких має свої унікальні характеристики та застосування. Деякі з найбільш поширених ультразвукових вимірювачів включають:

- Ручні ультразвукові вимірювачі – це найбільш прості та доступні ультразвукові вимірювачі, які широко застосовуються в інженерних галузях для вимірювання товщини матеріалу. Вони можуть працювати з високою точністю, але вимагають ручного налаштування, що може призвести до похибок у вимірах.

- Автоматичні ультразвукові вимірювачі – це складніші ультразвукові вимірювачі, які зазвичай використовуються у виробничих умовах. Вони зазвичай мають більшу точність вимірювання і здатні працювати автоматично без участі оператора, але їх вартість може бути значно вищою.

Ультразвукові датчики рівня – це ультразвукові вимірювачі, які використовуються для вимірювання рівня рідини в резервуарах та ємностях. Вони можуть працювати з високою точністю, але їхня продуктивність може бути обмежена в залежності від типу рідини [10].

Деякі з переваг ультразвукових вимірювачів включають високу точність вимірювання, відсутність контакту з об'єктом, що вимірюється, широкий діапазон вимірювань і здатність працювати в широкому діапазоні температурних умов.

Однак ультразвукові вимірювачі також мають свої недоліки, такі як можливість похибки у вимірюваннях через вплив навколишнього середовища, складність калібрування та обслуговування, а також обмеження у застосуванні в деяких умовах.

Таким чином, при виборі ультразвукового вимірювача необхідно враховувати характеристики конкретного пристрою, умови його застосування, вимоги до точності вимірювання, а також вартість та доступність на ринку.

Також слід звернути увагу на виробника ультразвукового вимірювача та їхню репутацію на ринку, а також наявність сертифікатів якості та відповідності стандартам.

Важливо враховувати, що кожен тип ультразвукового вимірювача може мати свої особливості та застосовуватись у різних сферах, тому необхідно ретельно оцінити свої потреби та вибрати відповідний пристрій.

Нарешті, для забезпечення надійності та точності вимірювань рекомендується проводити регулярне калібрування та технічне обслуговування ультразвукового вимірювача.

Розробка приладу для визначення октанового числа на базі ультразвуку має на меті створення точного, надійного і ефективного пристрою, який здатний вимірювати октанове число палива з високою точністю і швидкістю. Октанове число є важливим показником якості

палива і використовується для оцінки його здатності запалюватись бездетонаційно.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити структурну схему приладу для визначення октанового числа на базі ультразвуку;
- розрахунок та вибір елементів схеми;
- розробка схеми електричної принципової;
- виконання складального креслення. [13]

## 2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

### 2.1 Розробка структурної схеми приладу

Електрична структурна схема визначає загальний склад та організацію зв'язків між функціональними вузлами, надає повне уявлення про функціонування пристрою, що проектується.

При розробці структурної схеми слід використовувати принципи системного підходу, які для даного проекту можна сформулювати у вигляді наступних положень:

- виконується функціональна декомпозиція загальної задачі проектування на окремі задачі;
- пристрій, що проектується, уявляється у вигляді низки функціональних вузлів та сукупності процесів, які взаємодіють між собою та підлягають досягненню визначеної мети;
- пристрій уявляється ієрархічною системою, що може бути описана із різними рівнями деталізації, ступінь деталізації повинен бути достатнім для розкриття процесів, які відбуваються у ньому.

Першим етапом розробки пристрою є розробка структурної схеми. Структурна схема визначає загальний склад та організацію зв'язків між функціональними вузлами, надає повне уявлення про функціонування пристрою.

Алгоритм функціонування пристрою приведений на рис.2.1

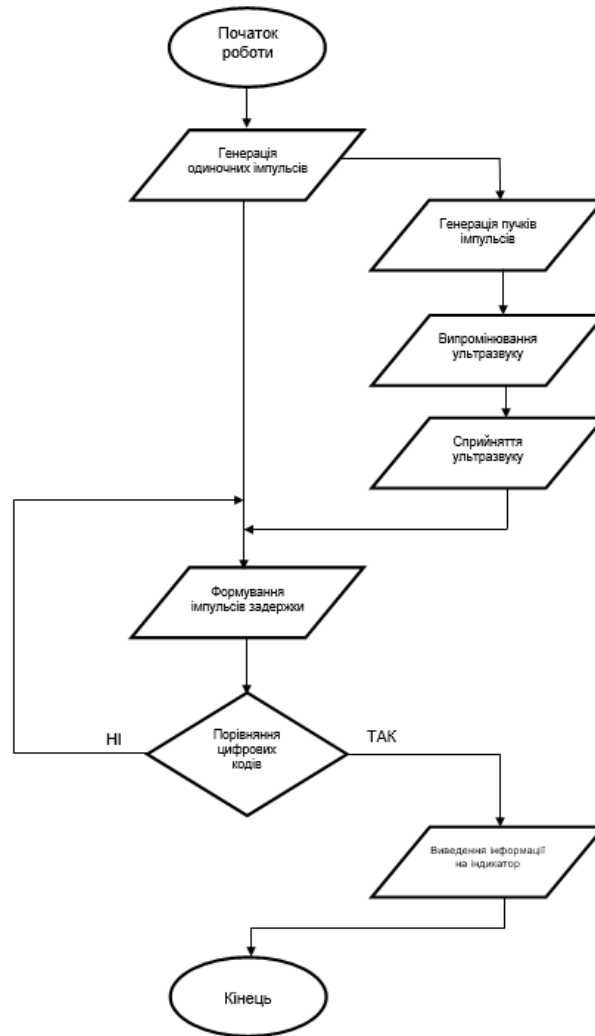


Рисунок 2.1 – Алгоритм функціонування ультразвукового вимірювача октанового числа бензину

Структурна схема складається з таких блоків (рис.2.2):

- Блок живлення і стабілізація
- Блок комутації
- Одновібратор
- Генератор
- Мікрофон
- Підсилювач
- Електронні ключі

- Лічильник
- ПЗП
- Резистивний дільник
- Звукова сигналізація
- Світлова індикація

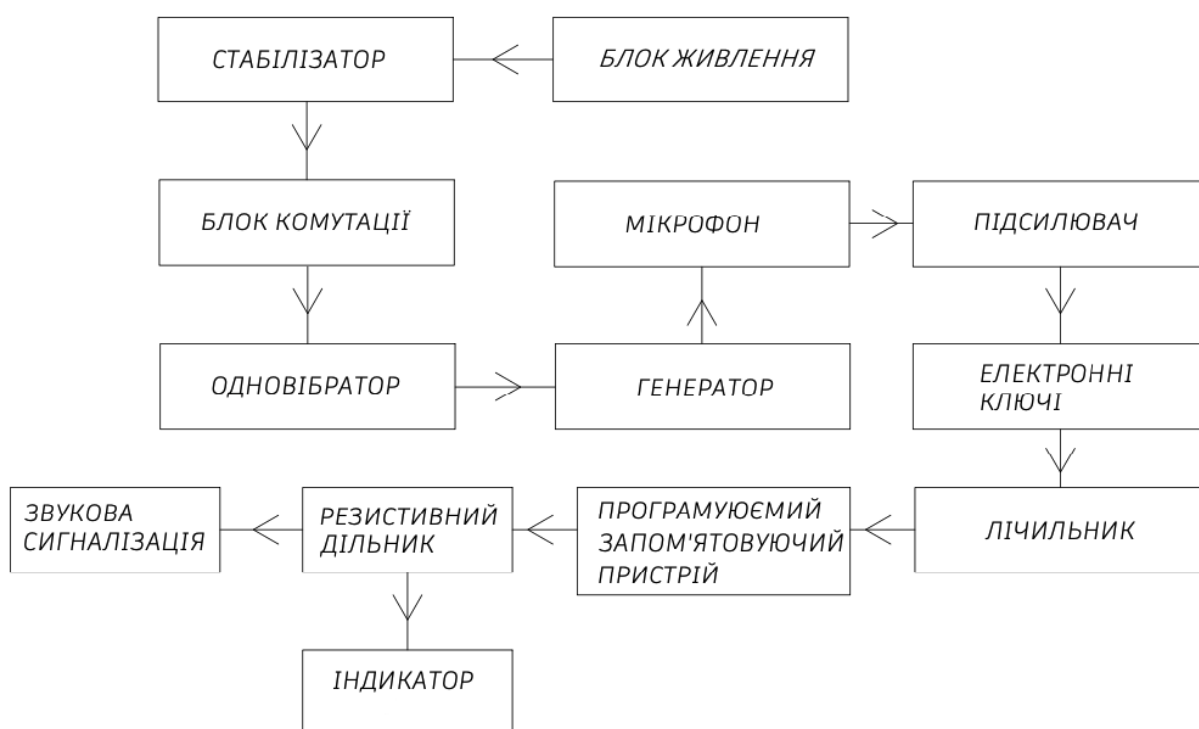


Рисунок 2.2 -Схема електрична структурна [14]

## 2.2 Розробка схеми електричної принципової

Принципова схема визначає повний склад елементів та зав'язків між ними і надає детальне уявлення про принципи вузлу чи пристрою у цілому. Вона будується на основі раніше розробленої структурної схеми.

Для розробки принципової схеми необхідно визначити серію інтегральних мікросхем, тип резисторів, конденсаторів, транзисторів, діодів. При цьому враховуємо такі фактори, як швидкодія сигналів, потужність, розповсюдженість серії мікросхеми, транзисторів, діодів, наявність довідникової документації, надійність та економічні показники.

Код з виходів лічильника DD3, відповідний вимірної затримки поширення ультразвукового імпульсу в бензині, надходить не на компаратор, а на адресні входи ПЗП DS 1 (KP556PT4A).

Мікросхеми цього типу постачають споживачам із записаними в усіх осередках пам'яті логічними нулями. Щоб використовувати в приладі ППЗУ, його потрібно запрограмувати, замінивши в потрібних осередках логічні нулі логічними одиницями. Адреси осередків ПЗП і коди, які потрібно в них записати, наведені в таблиці. У всі інші комірки, відсутні в таблиці, слід записати код 1111.

Таблиця 2.1- Параметри октанового числа бензину [11]

Бензин	$\Delta t$ , мкс	$\text{int}(\Delta t) \bmod 128$	Адрес, hex	Код, bin
Краще АИ-95	828...836	60-68	3С - 44	0111
АИ-95	837...842	69-74	45 - 4А	1011
АИ-92	843...848	75-80	4В - 50	1101



АИ-80	849...876	81-108	51 - 6С	1110
Гірше АИ-80	877...883	109-115	6D - 73	0000

З запрограмованим таким чином ПЗП світлодіод HL1 приладу включиться при перевірці бензину марки АИ-80, HL2 - АИ92, HL3 - АИ95. Бензину з більшим, ніж у АИ-95, октановим числом відповідає світіння світлодіода HL4, а якщо бензин гірше, ніж АИ-80, будуть включені всі світлодіоди.

Налагодження приладу зводиться до установки частоти 40 кГц на виході генератора мікросхеми DA1 (вив. 5) за допомогою підлаштування резистора R7 і програмування ПЗП. Запрограмувати мікросхему KP556PT4A вручну можна за допомогою програматора. Програмують її, подаючи поодинокі програмуючі імпульси на вихід запрограмованого розряду і на вивід живлення. Адреса комірки набирають кодуючими перемикачами SA1 і SA2, перемикачем SA3 вибирають розряд, що підлягає програмуванню. Імпульс перепалює плавкі перемичку всередині мікросхеми, що еквівалентно запису логічної одиниці в цей розряд.

При натисканні на кнопку SB1 генератор одиночного імпульсу на одновибраторе DD1.1 видає імпульс тривалістю близько 100 мс, відкриває ключ на транзисторах VT1 і VT2. Під час імпульсу на запрограмований розряд і висновок живлення ППЗУ надходить напруга +12 В. Якщо записана одиниця, світлодіод HL1 повинен включитися. В іншому випадку слід повторити операцію запису. Тривалість імпульсу програмування залежить від номіналів резистора R10 і конденсатора C1.

Мікросхема КР556РТ4А давно знята з виробництва, але в продажі їх ще досить багато. При необхідності можна застосувати і інші мікросхеми ПЗП, наприклад, К155РТ4, К541РТ1 або імпортні.

Розроблена схема електрична принципова, представлена на рисунку 2.3. Перелік елементів схеми представлено в додатку А. [15]

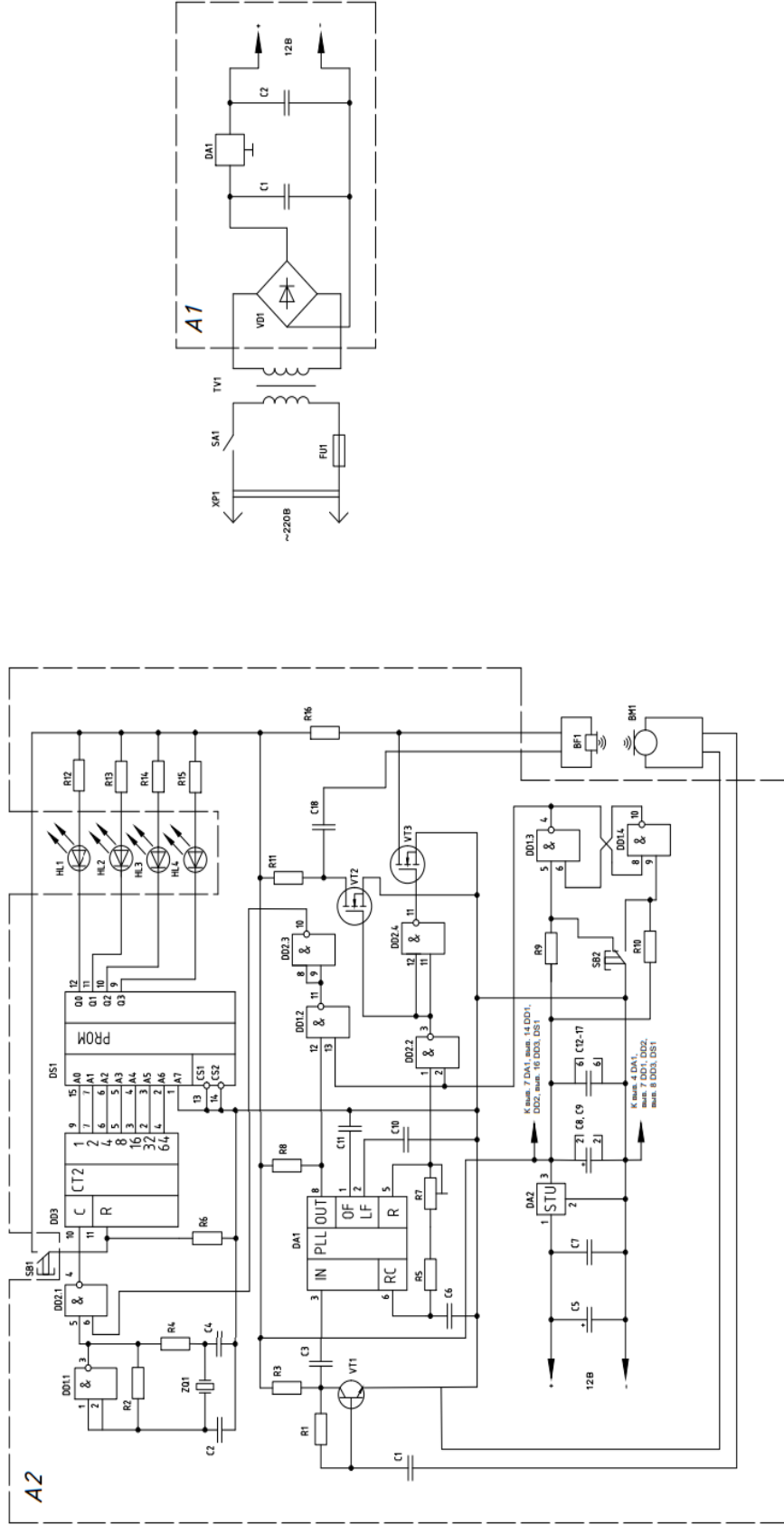


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова

### 2.3 Розрахунок навантажувального резистора для світлодіода

Розрахунок навантажувального резистора для світлодіодів проводиться за формулою:

$$R_h = \frac{U_{ж} - U_{пр}}{I_{пр}} ;$$

де  $U_{ж}$  – напруга живлення ланцюга, у якому знаходиться світлодіод, В;

$U_{пр}$  – падіння напруги на світлодіоді при прямому вмиканні;

Приймається  $U_{пр} = 2$  В для світлодіодів АЛ307БМ (червоного кольору світіння);

$I_{пр}$  – прямий струм світлодіоду;

Приймається  $I_{пр} = 0,01$  А для всіх світлодіодів.

Опір навантаження R12 складає:

$$R_h = \frac{5 - 2}{0,01} = 300 \text{ Ом.}$$

Приймаємо опір навантаження для світлодіода зі стандартного ряду, яке дорівнює 300 Ом.

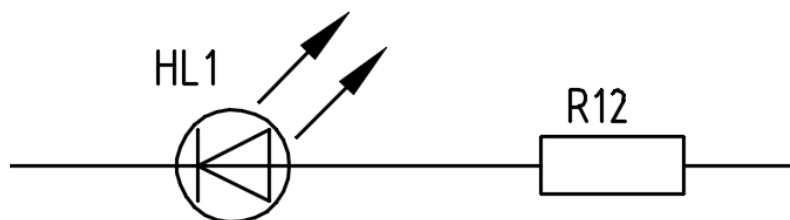


Рисунок 2. 4 – Схема електрична принципова з'єднання світлодіода (HL1) та навантажувального резистора (R12) [16]

## 2.4 Розрахунок та розробка друкованої плати

На цьому етапі виконання кваліфікаційної роботи необхідно дотримуватись наступної послідовності:

- обрати тип друкованої плати;
- визначити клас точності;
- обрати матеріал для основи плати ;
- відшукати раціональне розташування елементів на платі;
- визначити конфігурацію та габаритні розміри друкованої плати;
- визначити розмір елементів малюнку;
- провести трасування;
- виконати необхідні технологічні розрахунки.

Основою для топологічного проектування друкованої плати є електрична принципова схема пристрою.

На першому етапі конструювання вибираємо тип і розмір друкованої плати. Товщину друкованої плати вибирається із рекомендуемого ряду припустимих значень і приймається 1,5мм. Знайшовши площину кожного елемента площа друкованої плати становить 6,955 мм<sup>2</sup>.

В якості матеріалу друкованої плати приймаємо склотекстоліт СФ-Н1-50-1,5, котрий менше схильний до короблення.

Обираємо двухсторонню печатну плату першого класу точності, для якої рекомендується метод виготовлення електрогальванічним ГОСТ 23752-79.

Приймається товщина провідного шару друкованого провідника  $h_f=35\text{мкм}$ . Тоді для обраного класу точності робоча напруга складає  $U_p=100\text{В}$ , граничний струм  $I_{гр}=2600\text{ мА}$  і погонний опір – 1,1 МОм/мм.

При топологічному проектуванні розробляється рисунок друкованої плати, включаючи розміщення радіоелементів на робочій площі друкованої плати і трасування з'єднань між контактними площадками. Приймається крок координатної сітки 2,5 мм. Приймаються допуски на між центрову

відстань отворів для кріплення елементів  $\pm 0,2$  мм. Всі радіоелементи встановлюються з однієї сторони печатної плати, що дозволяє використовувати пайку «хвилею припою».

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 між собою контактів кожного з елементів, які розташовані на печатній платі. Основними обмеженнями при трасуванні є не припущення перетинання в одному шарі провідників ланцюгів та метричні обмеження, пов'язані з обмеженим обсягом монтажного простору та розмірами провідних 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:

$$d_m = d_{ei} + (0,2 \div 0,4)$$

де  $d$  - діаметр монтажних отворів, мм;

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

Проведемо розрахунок діаметрів отворів для окремих елементів схеми. Спочатку розрахуємо діаметр отворів для інтегральних мікросхем (тому що товщина виводів інтегральних мікросхем однакова, проводити розрахунок будемо в комплексі для усіх мікросхем). Згідно з довідковими даними діаметр виводу мікросхем:  $d_{v1}=0,6$  мм. Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m1} = 0,6 + (0,2 \div 0,4) = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору  $d_{m1} = 1,1$  мм.

Далі розрахуємо діаметр отвору під резистори. Згідно з довідковими даними в схемі резистори мають діаметр виводу  $d_{v2} = 0,6$  мм.

Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m2} = d_{vi} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору  $d_{m2} = 1,1$  мм

Далі розрахуємо діаметр отвору під конденсатори. Згідно з довідковими даними діаметр виводу конденсатору  $d_{v4} = 0,6$  мм.

Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{m4} = d_{v4} + (0,2 \div 0,4) = 0,6 + 0,5 = 1,1 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення отвору з вище приведенного ряду  $d_{m4} = 1,1$  мм.

Тепер проведемо розрахунок діаметру отвору під транзистори. Згідно з довідковими даними в схемі транзистор мають діаметр отвору  $d_{B5} = 0,7\text{мм}$ . Розрахуємо діаметр отвору:

$$d_{M5} = d_{B5} + (0,2 \div 0,4) = 0,7 + 0,5 = 1,2\text{мм}$$

При розрахунках ми одразу ж одержали стандартне значення отвору для транзистору  $d_{B5} = 1,2\text{ мм}$ .

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

$$D_{K \min} = \sqrt{1,28 * PO + d_{\max}^2},$$

де  $D_{K \min}$  - 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:

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

Аналогічне значення буде також і для резисторів та конденсаторів.

Для розрахунку контактної площадки під діоди та транзистори приймається формула:

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

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



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

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

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

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

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

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  $C_{\text{пар}}$  між двома друкованими печатними провідниками визначається за формулою:

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пог}} + I_n ,$$

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

$I_n$  - довжина провідника, см.

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

де  $K_n$  - погонний коефіцієнт;

$\epsilon$  - діелектрична проникність.

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

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

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

При  $b = 0,6$  мм  $K_n = 0,1$

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

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

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

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

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

Індуктивність друкованого провідника визначається згідно :

$$L = L_{\text{пог}} * I_n,$$

де для провідника шириною  $b=1$ мм погонна індуктивність:

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

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

Визначається потужність втрат друкованої плати згідно:

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

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:

$$C = 0,009 * \epsilon * F / H_m,$$

де  $F$  – сумарна площа друкованих провідників, мм<sup>2</sup>;

$H_m$  – товщина плати, мм.

$$C = 0,099 * 6 * 2000 / 1,5 = 72 \text{ мкФ};$$

$$P_n = 2 * 3,14 * 50 * 72,0 * 12^2 * 0,002 * 10^{-6} = 203,47 * 10^{-6} \text{ Вт.}$$

Таким чином, втрати потужності несуттєві.

Розроблена топологія друкованої плати, представлена на рисунку 2.5.

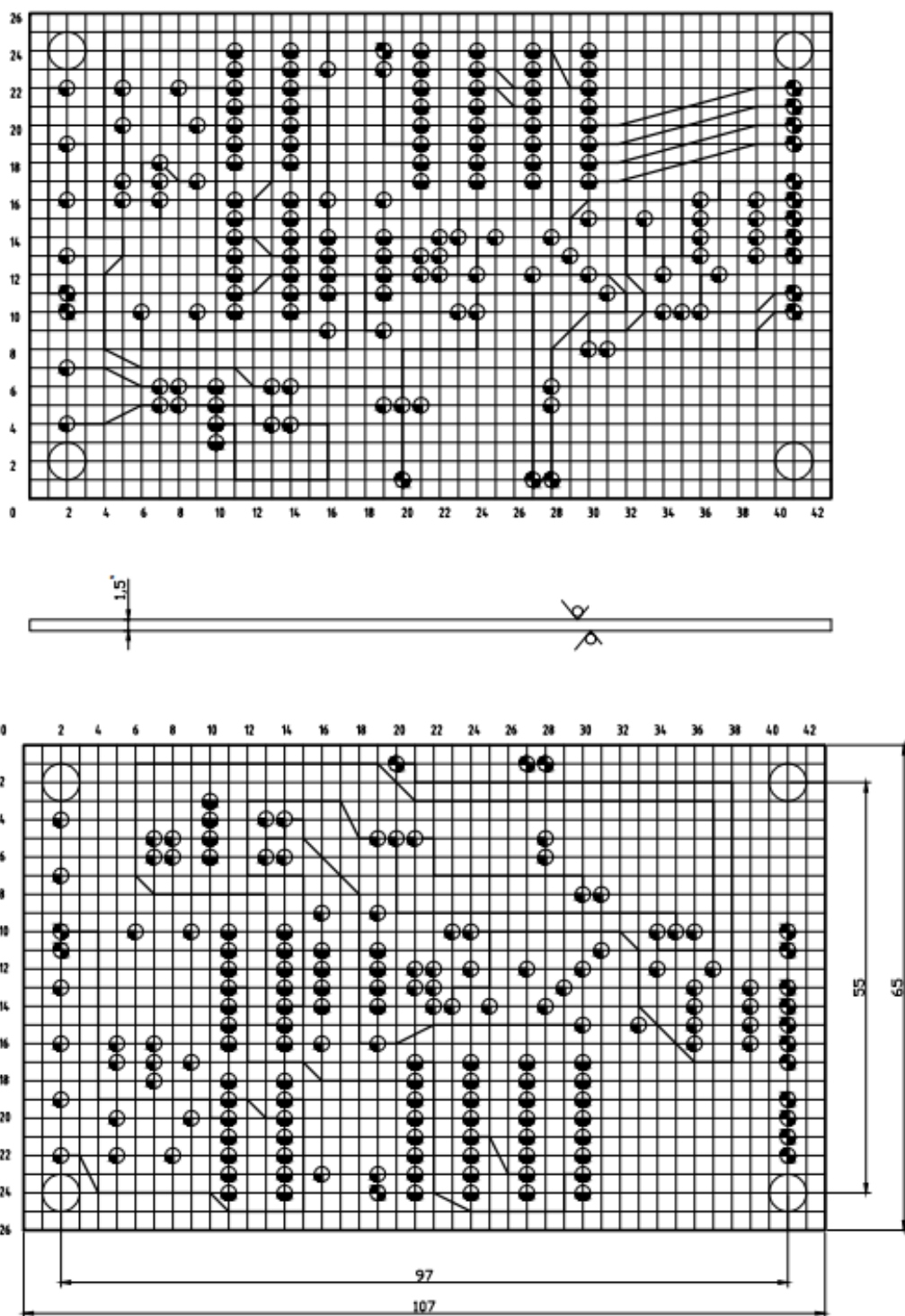


Рисунок 2.5 – Друкована плата

На основі топології розробленої друкованої плати, виконано складальне креслення, що представлено на рисунку 2.6.

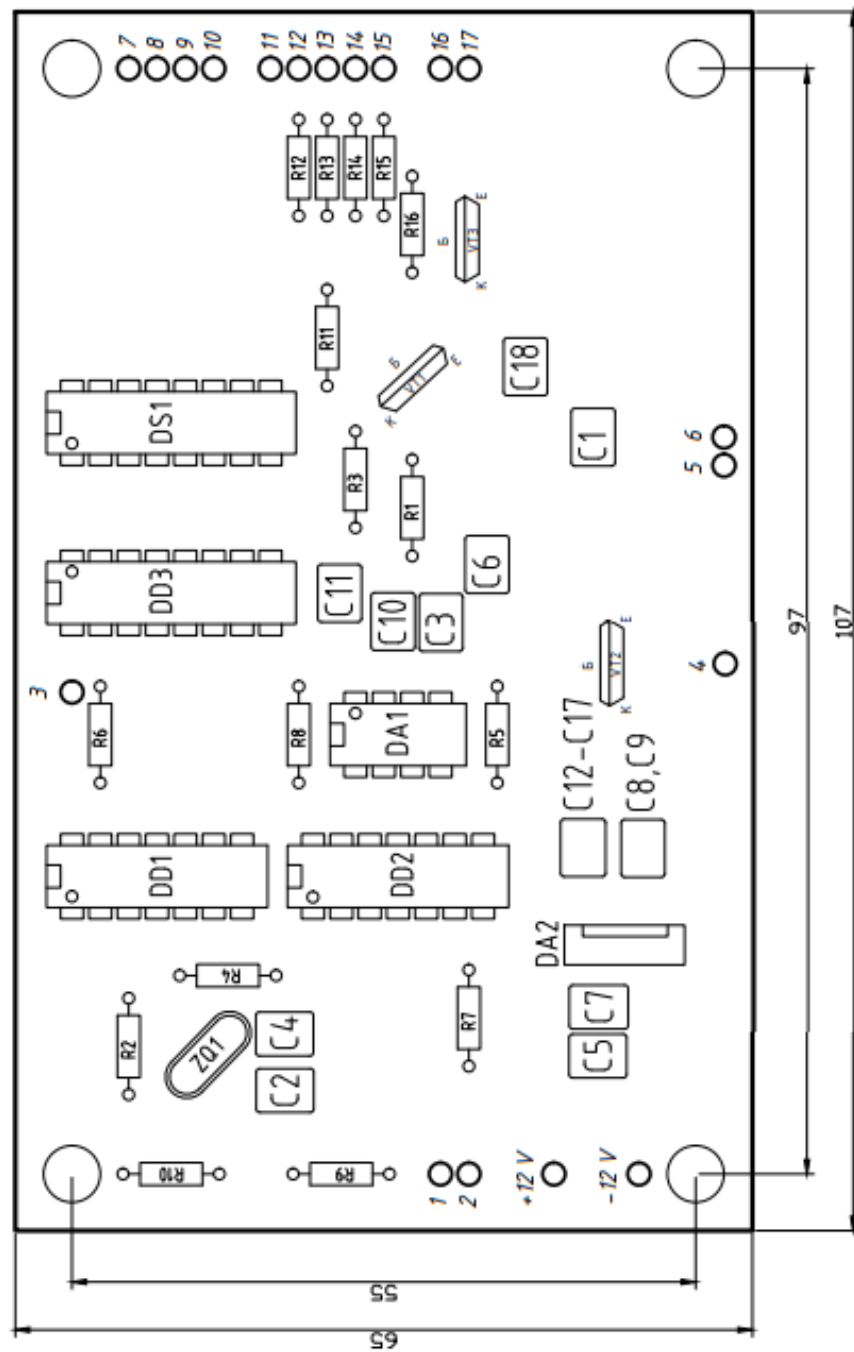


Рисунок 2.6 – Складальне креслення [17]

## 2.5 Організація електричного живлення

Проводимо розрахунок вирівнювача, працюючого на ємнісне навантаження.

Вихідні данні: вирівняна напруга у навантаженні  $U_{0н} = \pm 12\text{В}$ ; вирівняний струм у навантаженні  $I_0 = 0,65\text{А}$ ; коефіцієнт пульсації вирівняної напруги на навантаженні  $K_{п.н} = 1\%$ , напруга мережі  $U_1 = 220\text{В}$ ; частота мережі  $f_c = 50\text{Гц}$ ; робочий діапазон температур  $\Delta T_{окр} = -60 \dots +80^\circ \text{С}$ .

Розрахуємо потужність у навантаженні:

$$P_{0н} = U_{0н} * I_0 ,$$

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

$U_{0н}$  – вирівняна напруга у навантаженні,  $\text{В}$ ;

$I_0$  – вирівняний струм у навантаженні,  $\text{А}$ .

$$P_{0н} = 12 * 0,65 = 7,8 \text{ (В} * \text{А)}$$

Вибір схеми вирівнювача визначається значенням потужності та напруги. Оскільки потужність у навантаженні у даному випадку невелика, а вирівняний струм менше  $1\text{А}$ , 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:

$$U_0 = U_{0н} * [1 + 0,01 * (\Delta U_{\phi} / U_{0н})\%] ,$$

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

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

$(\Delta U_{\phi} / U_{0н})\%$  - значення підставляється із графіка.

$$U_0 = 12 * [ 1 + 0,01 * 10 ] = 13,2 \text{ (В)}$$

Основні параметри діодів схеми:

$$I_{\text{пр.и.п}} = 3,5 * I_0 = 3,5 * 0,65 = 2,27 \text{ (А)}$$

$$I_{\text{пр.ср}} = 0,5 * I_0 = 0,5 * 0,65 = 0,325 \text{ (А)}$$

$$U_{\text{обр.и.п}} = 1,5 * U_0 = 1,5 * 13,2 = 19,8 \text{ (В)}$$

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

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

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

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

$$U_{\text{пр.ср}} = 2,5 \text{ В}.$$

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:

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

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

$K_{гс}$  – коефіцієнт, залежний від схеми вирівнювача, 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.

$$r_{тр} = 3,5 * \frac{13,2}{0,65 * 50 * 1,2} * \sqrt[4]{\frac{1 * 50 * 1,2}{13,2 * 0,65}} = 1,9 \text{ (Ом)}$$

Диференційний опір діодів згідно:

$$r_{диф} = N_{посл} * \frac{U_{ср}}{3 * I_{нр.ср}},$$

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

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

$$r_{диф} = 1 * \frac{2,5}{3 * 0,325} = 2,56 \text{ (Ом)}$$

Активний опір фази вирівнювача:

$$r_0 = 2 * r_{диф} + r_{тр} = 2 * 2,56 + 1,9 = 7,02 \text{ (Ом)}$$

Індуктивність розсіяння обмоток трансформатора згідно:

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



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

$K_L$  – коефіцієнт із таблиці;

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

$\sigma = 1$ ;

$f_c$  – частота мережи, 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

$$L_s = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot \frac{13,2}{0,65 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot \sqrt[4]{\frac{1 \cdot 50 \cdot 1,2}{13,2 \cdot 0,65}}} = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ (Гн)}$$

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

$$\text{tg } \varphi = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot L_s}{r_0},$$

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

$L_s$  - індуктивність розсіяння обмоток трансформатора, Гн;

$f_c$  – частота мережи, дорівнює 50Гц;

$r_0$  - активний опір фази вирівнювача, Ом.

$$\text{tg } \varphi = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 1,04 \cdot 10^{-3}}{7,02} = 0,05; \quad \varphi = 4$$

Допоміжний коефіцієнт згідно із:

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

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,  
 $m=2$ .

$$A = \frac{0,65 * 3,14 * 7,02}{2 * 13,2} = 0,543$$

Розрахункові коефіцієнти  $B$ ,  $D$ ,  $F$  та  $H$ :

$$B=0,93; D=1,85; F=1,2; H=6500.$$

Уточнюємо значення  $I_{пр.и}$ :

$$I_{пр.и} = 0,5 * I_0 * F = 0,5 * 0,65 * 1,2 = 0,39 \text{ (А)}; \quad I_{пр.и} = 0,39 \text{ А} < 0,5 \text{ А}$$

Таким чином, діод ний міст КЦ407А по струму обраний правильно.

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

$$U_2 = B * U_0 = 1,35 * 13,2 = 17,8 \text{ (В)};$$

$$I_2 = D * \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 1,85 * \frac{0,65}{\sqrt{2}} = 0,85 \text{ (А)};$$

$$I_1 = n_{21} * I_2 = \frac{U_2}{U_1} * I_2 = \frac{17,8}{220} * 0,85 = 0,07 \text{ (A)};$$

$$P_T = 1,5 * P_0 = 1,5 * U_0 * I_0 = 1,5 * 13,2 * 0,65 = 12,9 \text{ (B*A)}.$$

Перевірка обраного діодного моста по зворотній напрузі проводиться по формулі:

$$U_{обр.н} = 1,41 * U_2 = 1,41 * 17,8 = 38 \text{ (B)} < 100 \text{ (B)}.$$

Таким чином, діодний міст КЦ407А по зворотній напрузі обраний правильно.

Вхідна ємність фільтра, дорівнює:

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

де  $C_{вх}$  – вхідна ємність, мкФ;

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

$r_0$  - активний опір фази вирівнювача, Ом;

$f_c$  – частота мережи, дорівнює 50 Гц.

$$C_{вх} = \frac{6500 * 100}{15 * 7,02 * 50} = 0,123 \text{ (мкФ)}$$

Приймається найближче стандартне значення  $C_{вх} = 0,1$  мкФ. По довіднику обираємо конденсатор К10-17а, причому значення  $U_{раб}$  знаходиться із нерівності  $U_{раб} \leq \sqrt{2} * U_2$ :

$$\sqrt{2} * U_2 = 1,41 * 17,8 = 25,09 \text{ (B)}$$

$$U_{\text{раб}} = 25\text{В} \leq 25,09\text{В}$$

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

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

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

Проводимо розрахунок стабілізатора напруги виконаного на мікросхемі типу КР1158ЕН6А. 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 для забезпечення високої точності роботи висувають вимоги до стабільності напруги живлення. Задовольнити їх при високих інших показниках (габарити, маса, вартість та ін.) дозволяє широке застосування стабілізаторів у інтегральному виконанні.

Стабілізатори з фіксованою вихідною напругою мають внутрішній дільник, що забезпечує завдання необхідного значення вихідної напруги. Налагоджуються вони на величини стандартного ряду напруг живлення у процесі виробництва.

Вихідні дані при застосуванні стабілізатора з фіксованою напругою стабілізації:

- напруга на виході  $U_{\text{вих}} = \pm 6 \text{ В}$ ;
- мінімальна вхідна напруга  $U_{\text{вх min}} = 10 \text{ В}$ ;

- максимальна вхідна напруга  $U_{\text{вх max}} = 15 \text{ В}$ ;
- потужність навантаження  $P_{\text{н}} = 7,8 \text{ Вт}$ .

При побудові стабілізатора напруги на основі ІМС стабілізатора з фіксованим значенням вихідної напруги, необхідно вибрати відповідну ІМС, це КР1158ЕН6А з  $U_{\text{вих}} = (1,5 \dots 25) \text{ В}$  і перевірити її на можливість застосування за напругою та на не перевищення допустимого значення розсіювання потужності 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:  $U_{\text{вх max}} = 15 \text{ В} < 25 \text{ В} = U_{\text{вх max доп}}$ ,

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

то за напругою дана ІМС відповідає умовам завдання.

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

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

$$I_{\text{н}} = 7,8 / 10 = 0,78 \text{ А},$$

а максимальне падіння напруги на ній дорівнює:

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

$$\Delta U = 15 - 10 = 5 \text{ В}.$$

Тоді  $P_{\text{ІМС}} = 5 * 0,78 = 3,9 \text{ Вт}$ .

Оскільки  $P_{\text{ІМС}} = 3,9 \text{ Вт} < 7,8 \text{ Вт}$ ,

то ІМС у даному разі можна використовувати без тепловідводу.

Величини ємностей електролітичних конденсаторів повинні бути не меншими за 100 мкФ. Конденсатори встановлюється за вихідних напруг, близьких до мінімальної. За табличними даними у довідниках обираємо тип конденсаторів К10-17 на напругу 50 В та 10 В.

Розроблено бюджетний, екологічний прилад, що дозволяє визначити октанове число палива в режимі реального часу, має невеликі габаритні розміри  $65 \times 107$  та відносно малу собівартість. Розраховано час безвідмовної роботи приладу, що складає 34 роки, побудовано графік імовірності безвідмовної роботи. [18]

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодекс законів про працю України (КЗПП). Основоположним законодавчим документом у галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці", дія якого поширюється на всі підприємства, установи й організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Навчання та систематичне підвищення рівня знань працівників, населення України з питань охорони праці – один з основних принципів державної політики в галузі охорони праці, фундаментальна основа безпеки праці та необхідна умова удосконалення управління охороною праці і забезпечення ефективної профілактичної роботи щодо запобігання аварій і травматизму на виробництві.

#### 3.1 Вимоги до безпеки праці

Під умовами праці розуміється сукупність факторів виробничого середовища, що робить вплив на здоров'я і працездатність людини в процесі праці.

З факторів виробничого середовища і з вимог ОСТ 12.3.002-75 "Процеси виробничі" впливає, що виробниче середовище, що створює здорові і працездатні умови праці, головним чином забезпечується вибором технологічного процесу, матеріалів і устаткування; розподілом навантаження між людиною й устаткуванням; режимом праці і відпочинку, естетичною організацією середовища і професійним добором працюючих.

При організації умов праці необхідно також враховувати вплив на працюючих небезпечного і шкідливого виробничого факторів, що можуть привести до травми чи іншому раптовому різкому погіршенню здоров'я або захворюванню, зниженню працездатності.

Шкідливі і небезпечні виробничі фактори відповідно до ОСТ 12.0.003-74 підрозділяються по природі дії на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні. Кожна з груп у свою чергу підрозділяється на підгрупи.

З метою попередження травматизму і професійних захворювань від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів на підприємствах приймаються заходи для їхнього попередження й усунення, а також зниженню ступеня впливу на працюючих.

Організація і поліпшення умов праці на робочому місці є одним з найважливіших резервів продуктивності праці й економічної ефективності виробництва, а також подальшого розвитку самого працюючого. У цьому головний прояв соціального й економічного значення організації і поліпшення умов праці.

До захисних засобів від дотику до струмоведучих частин електроустановок відносяться: ізоляція, огороження, блокування, електрозахисні засоби, сигналізація і плакати.



Ізоляція проводів характеризується її опором. Високий опір ізоляції проводів від землі і корпусів електроустановок створює безпечні умови для обслуговуючого персоналу.

Огородження застосовуються суцільні і сітчасті. Вони повинні бути вогнестійкими. Суцільні огороження (кожухи і кришки) і сітчасті застосовуються в електроустановках напругою до 1000 В та вище.

Блокування застосовується в електроустановках напругою вище 250 В, у яких часто виробляються роботи на струмоведучих частинах, що обгороджуються.

До електрозахисних засобів відносять:

- ізолюючі засоби;
- переносні показники напруги і струмовимірвальні кліщі.

Сигналізація привертає увагу працюючих і попереджає їхню неправильну дію при обслуговуванні електроустановок.

Радіоелектронним називається устаткування, принцип дії якого заснований на використанні радіотехнічних пристроїв, електронних, іонних, напівпровідникових і квантових приладів.

При монтажі радіосхем забороняється: перевіряти на дотик наявність напруги і нагрівши струмоведучих частин схеми; застосовувати для з'єднання блоків і приладів проводу з ушкодженою ізоляцією; робити пайку й установку деталей в устаткуванні, що знаходиться під напругою; вимірювати напруги і струми переносними приладами з неізольованими проводами і щупами; підключати блоки і прилади до устаткування, що знаходиться під напругою; замінити запобіжники у включеному устаткуванні; працювати на високовольтних установках без захисних засобів.

Для виміру параметрів електричної схеми за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури дозволяється витягати блоки налагоджуваного устаткування з корпусу, відкривати дверцята, знімати огороження в місцях підключення вимірювальної апаратури, замикати накоротко блокування. При цьому необхідно виконувати наступні вимоги безпеки:

1) усі підготовчі роботи, приєднання вимірювальної апаратури повинні вироблятися після зняття напруги і перевірки відсутності залишкових зарядів;

2) до подачі напруги металеві корпуси устаткування і вимірювальної апаратури повинні бути заземлені (занулені). Якщо заземлення вносить перекручування (наведення), то допускається робота без заземлення, але з застосуванням тимчасових огорожень, що застерігають плакатів і захисних засобів;

3) місце розташування і підключення контрольно-вимірювальної апаратури в електричні ланцюги з напругою вище 1000 В варто відгородити і вивісити попереджувальні плакати, залишивши лише доступ до органам управління. [19]

### 3.2 Вимоги до промсанітарії

При виборі площадок для будівництва підприємств варто враховувати весь комплекс санітарно-технічних заходів, що створювали б сприятливі умови як для працюючих, так і для навколишнього підприємства житлового чи лісового масиву.

Промислові підприємства з виробничими процесами, що супроводжуються виділенням в атмосферу диму, пилу, газів і різних

хімічних сполук, розташовуються стосовно інших підприємств і до житлового масиву з підвітряної сторони.

Площадка для будівництва промислового підприємства повинна задовольняти санітарним вимогам у відношенні прямого сонячного опромінення, природного провітрювання і розташовуватися якнайближче до енергетичних комунікацій.

У проектах підприємств повинне бути передбачено: чи відсутність мінімальне виділення в повітряне середовище приміщення, в атмосферу й у стічні води шкідливих чи неприємно пахнуть речовин; чи відсутність мінімальне утворення шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль радіочастот, що іонізує випромінювання, статичної електрики.

У приміщеннях, що мають віконні прорізи повинні бути кватирки, фрамуги, стулки, необхідні для провітрювання.

На підприємствах повинні бути побутові приміщення: гардеробні, умивальні, душові, убиральні, кімнати особистої гігієни жінок, курильні, санпропускники, пральні.

Для спуска фекально-господарських і виробничих вод на кожному підприємстві обладнаються каналізаційні пристрої.

Санітарні вимоги до виробничих приміщень устанавлюються ДСТ і ОСТ з урахуванням шкідливих речовин, що виділяються при технологічних процесах.

Шкідливим називається речовина, що при контакті з організмом людини у випадку порушення вимог безпеки може викликати виробничі травми, профзахворювання.

Шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи небезпеки: 1—надзвичайно небезпечні; 2—високонебезпечні; 3—помірковано небезпечні; 4—малонебезпечні.

Гранично припустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони – це коли в плинні усього робочого стажу не може викликати захворювань.

Шкідливі речовини підрозділяються на токсичні, що дратують, канцерогенні. Вони можуть бути у виді зваженого пилу, диму і тумана.

При плануванні технологічних процесах варто розміщати устаткування і робочі місця з однорідними шкідливими виробничими факторами на одній ділянці. Виробничі меблі й устаткування повинні відповідати технологічному значенню.

Метеорологічні умови. Основними факторами цих умов є: температура і вологість повітря, теплове випромінювання. Тривалий вплив на людину цих умов різко погіршує його самопочуття і приводить до захворювань. На ці умови у виробничих приміщеннях дуже впливають технологічні процеси. ОСТ встановлює оптимальні і припустимі метеорологічні умови для робочої зони приміщення і враховує: час року, вага виконуваних робіт.

Природне і штучне висвітлення виробничих приміщень повинне відповідати вимогам СНіП 11-4-79 (додатка II-V) [14].

Для будинків, розташованих у III і IV кліматичних районах, повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої. У приміщеннях з недостатнім природним світлом і без природного світла повинні застосовуватися установки штучного ультрафіолетового опромінення відповідно до СН 245-71.216

Для місцевого освітлення варто застосовувати світильники, установлені на верстатах і відрегульовані так, щоб освітленість у робочій зоні була не нижче значень, встановлених у додатку V.

Для місцевого освітлення повинні використовуватися світильники з не просвічуваними відбивачами із захисним кутом не

менш 30°. Крім того, повинні бути передбачені заходи для зниження відбитого блиску.

Чищення скла, віконних прорізів і світлових ліхтарів повинні проводитися не рідше двох разів у рік. Чищення ламп і освітлювальної арматури для інструментальних цехів повинні проводитися не рідше двох разів у рік, а для інших виробничих приміщень — не рідше чотирьох разів у рік.

При розробці технологічних процесів, проектуванні, виготовленні, експлуатації машин при організації робочого місця варто прийняти всі необхідні заходи, для зниження шуму. Боротьба з шумом в джерелі його виникнення – це найбільш дієвий спосіб боротьби з шумом. Створюються малошумні механічні передачі, розроблено способи зниження шуму в підшипникових вузлах, вентиляторах.

Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються звукопоглинальним матеріалом.

Зниження шуму звукоізоляцією. Суть цього методу полягає в тому, що шумовипромінювальний об'єкт або декілька найбільш шумних об'єктів розташовуються окремо, ізолювано від основного, менш шумного приміщення звукоізолюваною стіною або перегородкою.

Робітники та службовці цехів і ділянок обробки різанням для захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями відповідно до діючих типових галузевих норм, затвердженими у встановленому порядку.

Спецодяг працюючих на обробці магнієвих сплавів повинний систематично очищатися від осілого пилу, провітрюватися,

зберігатися в металевих шафах і стиратися не рідше одного разу в тиждень.

Для захисту шкірного покриву від впливу ЗОР і пилу токсичних металів застосовуються дерматологічні захисні засоби (профілактичні пасти, мазі, креми). [20]

### 3.3 Вимоги до пожежної безпеки

Електроустаткування (можливість їх застосування, монтаж, наладка та експлуатація) повинні відповідати вимогам чинних правил улаштування електроустаткувань (ПУЕ), Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ), Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустаткування споживачів (ПТБ) та інших нормативних документів.

Будівельну частину електроустаткувань слід виконувати відповідно до протипожежних вимог будівельних норм та ПУЕ.

Відстань від повітряних ліній електропередач до будівель і споруд, які містять вибухопожежні та пожежнобезпечні приміщення, до вибухо- і пожежобезпечних зон зовнішніх установок, а також займистих та близьких частин будівель і споруд, що виступають, місце зберігання горючих матеріалів, повинна відповідати нормам, визначеними ПУЕ.

Електричні машини, апарати, обладнання - апарати управління, пускорегулювання, контрольно-вимірювальні прилади, електродвигуни, світильники і таке інше. Електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати класу зони (за ПУЕ), мати апаратуру захисту від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів.

Телефонні апарати, сигнальні пристрої до них, електричні годинники, радіоприймачі та інші подібні споживачі електроенергії можуть використовуватись у вибухонебезпечних зонах - ступень захисту - класу зони.

Плавкі вставки запобіжників повинні бути калібровані із зазначенням на клеймі номінального струму вставки (клеймо ставиться заводом-виробником або електротехнічною лабораторією). Застосування саморобних некаліброваних плавких вставок забороняється.

На електродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати обладнання, встановлені у вибухонебезпечних або пожежонебезпечних зонах, повинні бути нанесені знаки, що вказують їх ступінь захисту згідно з чинними стандартами.

З'єднання, відгалуження та окінцювання проводів і кабелів мають здійснюватись за допомогою пресування, зварювання, паяння або затискачів (гвинтових, болтових тощо).

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

Влаштування та експлуатація тимчасових електромереж не дозволяється!

До первинних засобів пожежегасіння відносяться: вогнегасники та пожежний інвентар (покривала з негорючої грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки і пожежні відра, совкові лопати) та пожежний інструмент (гаки, сокири тощо).

Для визначення видів та кількості первинних засобів пожежегасіння слід враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні і властивості горючих речовин, їх взаємодію з вогнегасними речовинами також розміри площ виробничих приміщень, відкритих майданів, установок.

Необхідну кількість первинних засобів пожежегасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для закритих та відкритих установок.

Якщо в одному приміщенні знаходяться декілька різних за характером небезпекою виробництв, не відділених одне від одного протипожежними стінами, усі ці приміщення забезпечують вогнегасниками, протипожежним інвентарем та іншими видами засобів пожежегасіння.

Покривала мати розміром не менш як 1 м x 1 м. Вони призначені для гасіння локальних осередків пожеж у разі займання речовин, горіння яких може відбуватися без доступу повітря. У місцях застосування та зберігання легкозаймистих та горючих речовин розміри покривал можуть бути збільшені до розмірів 2 м x 1,5 м, 2 м x 2 м. Покривала слід застосовувати для гасіння речовин класів "А", "В", "О", (Е).

Бочки з водою встановлюються у виробничих, складських приміщеннях, спорудах у разі відсутності внутрішнього протипожежного водогону та за наявності горючих матеріалів.

Вибір типу та визначення потрібної кількості вогнегасників здійснюється в залежності від їх вогнегасної спроможності, граничної площі, класу горючих речовин і матеріалів у захищуваному приміщенні або на об'єкті. Клас А - пожежі твердих речовин, переважно органічного, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір); клас В — пожежі горючих рідин або твердих речовин; клас С — пожежі газів; клас D - пожежі металів та сплавів; клас Е - пожежі, пов'язані з горінням електроустановок. Крім перерахованих параметрів, беруться до уваги також категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою.



Вибір типу вогнегасника (пересувний чи переносний) обумовлений розмірами можливих осередків пожеж; у разі збільшених розмірів рекомендується використовувати пересувні вогнегасники. При роботі з радіоелектронним устаткуванням обираємо для гасіння пожежний вогнегасник вуглекислотний типу ВВ.

Необхідно враховувати кліматичні умови експлуатації будівель та споруд, вибираючи вогнегасник з відповідною температурною межею використання.

Якщо на об'єкті можливі комбіновані осередки пожеж, то перевага у виборі вогнегасника віддається більш універсальному в цій області застосування [21].

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- Аналіз методів контролю якості палива показав, що застосування саме ультразвукового методу для створення приладу вимірювання октанового числа бензину забезпечить високу точність, швидкість та невисоку вартість вимірювання, а також збереження якості вимірюваних зразків.
- Розроблено бюджетний, екологічний прилад, що дозволяє визначити октанове число палива в режимі реального часу, має невеликі габаритні розміри 65 × 107 та відносно малу собівартість. Виконано розрахунок електричного живлення для забезпечення захисту від перепаду напруги в мережі, розраховано час безвідмовної роботи приладу, що складає 34 роки, побудовано графік імовірності безвідмовної роботи.
- Запропонована розробка може використовуватися як пересічними автомобілістами так і заправними станціями для визначення якості палива.

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. Liu, T., Huang, S., Xu, W., Li, X., & Huang, Y. (2020). Review on ultrasonic-based methods for octane number measurement of gasoline. *Measurement*, 150, 107015.
2. Ультразвуковий контроль. URL: <https://sendlab.com.ua/services/non-destructive-testing/ultrazvukovyj-kontrol/> Дата доступу: 12.04.2023.
3. Mason, W. P., & Thurston, R. N. (2019). *Physical Acoustics: Principles and Methods*. Elsevier.
4. Ультразвук. Основи теорії поширення ультразвукових хвиль. URL: <https://engineering-solutions.ru/ultrasound/theory/> Дата доступу: 12.04.2023.
5. Hamilton, M. F., & Blackstock, D. T. (2015). *Nonlinear Acoustics*. Elsevier.
6. Leighton, T. G. (2016). *The Acoustic Bubble*. Academic Press.
7. Фізичні та математичні основи ультразвукової діагностики. URL: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/7zlepko\\_medychna\\_aparatura\\_speciального\\_pryznachennya/roz2\\_1.html](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/7zlepko_medychna_aparatura_speciального_pryznachennya/roz2_1.html) Дата доступу: 12.04.2023.
8. Інтерференція хвиль. URL: [http://ni.biz.ua/2/2\\_12/2\\_1288\\_interferentsiya-voln.html](http://ni.biz.ua/2/2_12/2_1288_interferentsiya-voln.html) Дата доступу: 12.04.2023.

9. Ermolov, V. Yu., et al. (2020). Ultrasonic Transducers: Materials and Design for Sensors, Actuators, and Medical Applications. Woodhead Publishing.
10. Mason, W. P., & Thurston, R. N. (2019). Physical Acoustics: Principles and Methods. Elsevier.
11. Jensen, J. A. (2011). Field: Wave Propagation, Scattering, and Emission in Complex Media. Springer.
12. Про затвердження Інструкції з контролю якості пально-мастильних матеріалів та спеціальних рідин у державній авіації України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0060-17#Text> Дата доступу: 12.04.2023.
13. Rao, C. S. (2019). Engineering Metrology and Measurements. Oxford University Press.
14. Sedra, A., & Smith, K. (2014). Microelectronic Circuits. Oxford University Press.
15. Horowitz, P., & Hill, W. (2015). The Art of Electronics. Cambridge University Press.
16. Розрахунок резистора для світлодіода - підбір, види, як розрахувати опір. URL: <http://stroyka-gid.com.ua/remontna-maysterny/6790-rozrachynok-rezistora-dla-svitlodioda.html> Дата доступу: 12.04.2023.
17. Mitzner, K. (2016). Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor. Newnes.

18. Ridley, R. (2016). Switchmode Power Supply Handbook. Newnes.
19. Головні вимоги до охорони праці на підприємстві. URL: <https://oppb.com.ua/news/golovni-vymogy-do-ohorony-praci-na-pidpryyemstvi> Дата доступу: 12.04.2023.
20. Промислова санітарія. URL: <https://studfile.net/preview/5679753/page:5/> Дата доступу: 12.04.2023.
21. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> Дата доступу: 12.04.2023.

## ДОДАТОК А

<i>Поз. Познач.</i>	<i>Найменування</i>				<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>		
<i>BF1</i>	<i>Гучномовець ГД-1</i>				<i>1</i>			
<i>BM1</i>	<i>Мікрофон МК-6</i>				<i>1</i>			
<i>FU1</i>	<i>Запобіжник ВП1-1 АГО.481.303 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>HL1...HL4</i>	<i>Світлодіоди АЛ307ВМ аА0.336.698 ТУ</i>				<i>4</i>			
<i>SA1</i>	<i>Перемикач ПКн61 АГО.360.306 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>SB1</i>	<i>Перемикач ПКн61 АГО.360.306 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>SB2</i>	<i>Перемикач ПКн135 АГО.360.032 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>TV1</i>	<i>Трансформатор НМ 4.568.001</i>				<i>1</i>			
<i>XP1</i>	<i>Роз'єм ОНЦ-ВГ-11-5/16-В</i>				<i>1</i>			
<i>A1</i>	<i>Плата блоку живлення</i>				<i>1</i>			
<i>C1</i>	<i>Конденсатор К10-17-0,1мкФ ОЖ0.460.172 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>C2</i>	<i>Конденсатор К10-17-0,1мкФ ОЖ0.460.172 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>DA1</i>	<i>Мікросхема КР1158ЕН6А ЮФ3.438.051-06ТУГК</i>				<i>1</i>			
<i>VD1</i>	<i>Діодний міст КЦ407А АА0.336.625 ТУ</i>				<i>1</i>			
<i>A2</i>	<i>Плата пристрою</i>				<i>1</i>			
					ІННІ ЗНУ 153			
Зм	Лист	№ докум.	Під пис	Дата				
Розроб.	Науменко М.С.				Ультразвуковий прилад для контролю якості палива	Літ.	Ли ст	Ли стів
Перев.	Небеснюк О.Ю.						1	3
Реценз.	Небеснюк О.Ю.					ІННІ ЗНУ		







# CERTIFICATE

is awarded to

**Naumenko Mykhailo**

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)

## УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ

**Науменко Михайло Сергійович,**  
студент кафедри електроніки,  
інформаційних системи та програмного  
забезпечення  
Mihasha.naumenko@gmail.com  
**Небеснюк Оксана Юріївна,**  
к.т.н., доцент, доцент кафедри  
електроніки, інформаційних системи та  
програмного забезпечення  
0811oksana@gmail.com  
Інженерний навчально-науковий інститут  
ім. Ю. М. Потебні  
Запорізький національний університет  
м. Запоріжжя, Україна

**Актуальність.** Багато сучасних автомобілів оснащені електронною системою запалювання з комп'ютерним блоком управління подачею і впорскуванням палива. Для коректної роботи блоку управління необхідно контролювати такий параметр пального як - октанове число бензину. При його невідповідності, двигун не може працювати в оптимальному режимі, порушується процес управління впорскуванням палива, що може призвести до аварійної втрати потужності. Тому розробка бюджетного, простого в налаштуванні приладу, що допоможе контролювати якість палива автомобіля є достатньо актуальним питанням.

**Мета.** Розробити прилад для вимірювання октанового числа бензину, принцип дії якого базується на вимірюванні швидкості поширення ультразвуку в бензині.

**Матеріали та методи./Materials and methods.** Октанове число (ОЧ) визначає детонаційну стійкість палива, що використовується. В

лабораторних умовах існує два методи визначення ОЧ - дослідний і моторний.

При моторному методі застосовується спеціальний одноциліндровий двигун внутрішнього згоряння зі спеціальною конструкцією головки блоку циліндрів, яка дозволяє знаходити ступінь стиснення. Досліджуване паливо заливають в двигун і доводять ступінь стиснення до початку процесу детонації. За спеціальними таблицями визначають марку палива.

У США поняття октанового числа замінено так званим октановим індексом, який представляє собою середньоарифметичну складову октанових чисел, які отримані за дослідницьким і моторним методом для даного виду палива. У Японії ж для позначення марки бензину використовується тільки дослідницький метод. Саме дослідницький метод використовується при декларуванні октанового числа бензину і на наших АЗС.

Дослідницький метод полягає в порівнянні палива відносно еталонного. В якості еталону для визначення октанового числа використовують два вуглеводню, один з яких - ізооктан - володіє дуже високими антидетонаційними властивостями, тобто горить, а не вибухає. Інший - Н-гептан - навпаки. Октанове число ізооктану прийнято вважати рівним 100, а Н-гептана - рівним нулю. Якщо ці дві сполуки змішати в пропорції 92 до 8, то вийде паливо з октановим числом, рівним 92 - це еталон 92-го бензину. З цього ідеалу і визначаються антидетонаційні властивості бензину, який претендує на звання "дев'яносто другого". Для визначення октанового числа застосовують одноциліндровий двигун із змінним ступенем стиснення. В установку заливають зразок бензину і вимірюють детонацію, тобто поріг, на кордоні якого нормальне згоряння палива перетворюється у вибухонебезпечне. Потім в ту ж установку послідовно заливають суміш ізооктану і Н-гептану в різних пропорціях, домагаючись

того ж рівня детонації. Частка ізооктану в такій суміші і визначає октанове число бензину.

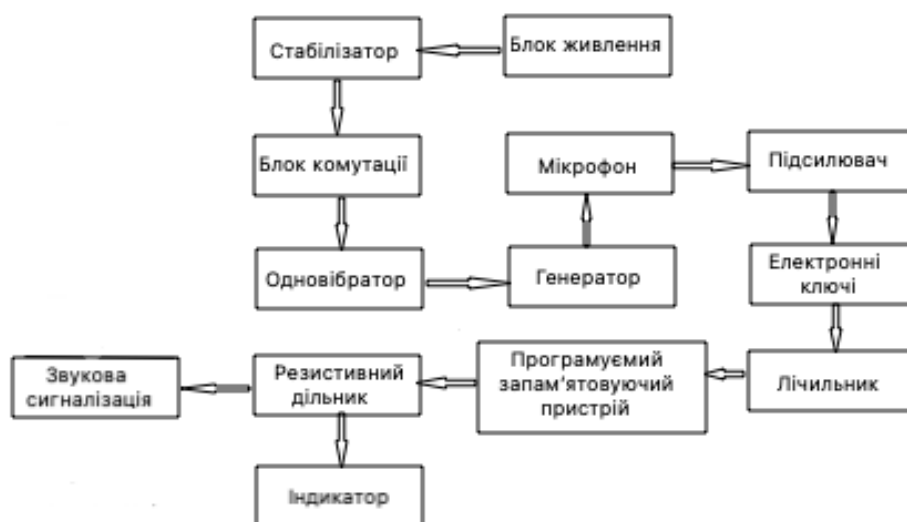
Моторний метод відрізняється від дослідного жорсткішими умовами роботи двигуна - вище обороти і температура горючої суміші. Тому моторне октанове число завжди менше дослідного. Наприклад, число обертів випробувального двигуна по моторному методу - 900 об/хв, по дослідницькому - 600 об/хв. Паливноповітряна суміш в першому випадку підігрівається до 149 ° С, у другому - не більше 50 ° С. [1].

Випускають автомобільний бензин наступних марок:

- низької якості: А 72 і А-76 (найпоширеніша марка бензину для використання в сільському господарстві);
- звичайної якості (містить антидетонаційні присадки): А80, А92;
- поліпшеної якості: А95, А98 (з миючими присадками А95 екто або А95 Євро). [2].

Бензини також поділяються на літні та зимові в залежності від температурних умов експлуатації. Вибір відповідного бензину визначається виробником автомобіля.

**Результати та обговорення./Results and discussion.** Авторами запропоновано прилад для визначення ОЧ, в основі роботи якого лежить метод вимірювання швидкості поширення ультразвуку в бензині.



**Рис. 1. Структурна схема ультразвукового вимірювача октанового числа бензину**

На виході генератора одиночного імпульсу формується імпульс, який передавач переносить на резонансну частоту ультразвукового випромінювача. У найпоширеніших ультразвукових випромінювачів, що нині випускаються, ця частота дорівнює 40, 200 або 400 кГц. Імпульс випромінюється у бензобак автомобіля. На протилежному боці бензобака ультразвуковий приймач приймає цей імпульс, а селективний детектор перетворює його на імпульс постійного струму, затриманий щодо імпульсу на час поширення ультразвуку в бензині. Цей час дорівнює  $\Delta t = L/V$ , де  $L$  - відстань між випромінювачем та приймачем ультразвуку;  $V$  - швидкість поширення ультразвуку в аналізованому бензині. По фронтах випромінюваного та прийнятого імпульсів формується імпульс, тривалість якого дорівнює  $\Delta t$ . Вимірявши його і знаючи відстань між випромінювачем і приймачем, можна обчислити швидкість  $V$  і оцінити октанове число бензину. Для вимірювання тривалості, імпульс заповнюють наступними, з відомим періодом, лічильними імпульсами і підраховують їх число. Потім

це число порівнюють з еталонними константами для різних марок бензину, і за результатами порівняння, що виводяться на світлодіодний індикатор, можна зробити висновок про марку та якість бензину.

Так як швидкість поширення ультразвуку в бензині істотно залежить від температури, вимірювальну установку оснащують термостатом, вбудувавши в бак з бензином датчик температури та нагрівач. Це значно підвищує точність виміру, особливо у зимовий час.

**Висновки./Conclusions.** Розроблений прилад не претендує на високу точність визначення октанового числа бензину порівняно з заявленою точністю промислових приладів, але дозволяє оцінити якість палива, має незначні габаритні розміри, порівняно малу собівартість, не вимагає спеціального налаштування, що робить його доступним до автолюбителів.

#### **Література./References**

1. Що таке октанове число бензину? URL: <https://s-tehnika.com.ua/shho-take-oktanove-chislo/> (дата звернення: 04.01.2023).
2. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні євро. Дата введення: 01.01.2016. Київ: УкрНДНЦ, 2015.– 20 с