

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**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження та розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

Виконав: студент II курсу, групи 8.1531  
спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна  
техніка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Мікроелектронні інформаційні  
системи

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

І.П. Новохатній

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент кафедри ЕІСПЗ, доцент, к.ф.-м.н.,  
Світанько М.В.

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

Рецензент завідувач кафедри електричної інженерії  
та кіберфізичних систем ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ,  
професор, д.т.н., Коваленко В.Л.

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

Запоріжжя  
2022

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

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 153 «Мікро- та наносистемна техніка»  
(код і назва)  
Освітня програма Мікроелектронні інформаційні системи  
(код і назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕІСПЗ

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Новохатньому Івану Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Дослідження та розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

керівник роботи Світанько Микола Вікторович, к.ф.-м.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “02” червня 2022 року № 597-с

2 Строк подання студентом роботи 10 грудня 2022 року

3 Вихідні дані до роботи мікрофон, напруга живлення 5 В, частота 15000 Гц, згасання 3 дБ, напруга в мережі 220 В

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Обладнання акустичних інформаційних систем 2. Розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості 3. Техніко – економічне обґрунтування 4. Охорона праці та техногенна безпека при розробці системи

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

1. Структурна схема функціонування акустичних інформаційних систем.  
2. Структурна схема мікропроцесорної акустичної інформаційної системи 3.

Схема електрична принципова акустичного приймача. 4. Логічна схема мікропроцесорного пристрою оброблення інформації. 5. Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації на мікросхемах КМОН-логіки 6.Схемотехнічна реалізація комутування електричних кіл виконавчих пристроїв 7. Рисунок друкованих плат розробленої мікропроцесорної акустичної інформаційної системи 8. Дзеркальне відображення друкованих плат розробленої мікропроцесорної акустичної інформаційної системи

#### 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>I</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>02.06.2022</i>	<i>02.06.2022</i>
<i>II</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>02.06.2022</i>	<i>02.06.2022</i>
<i>III</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>02.06.2022</i>	<i>02.06.2022</i>
<i>IV</i>	<i>Світанько М.В., доцент</i>	<i>02.06.2022</i>	<i>02.06.2022</i>

7 Дата видачі завдання 02 червня 2022 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Літературний огляд</i>	<i>24.06.2022</i>	
<i>2</i>	<i>Розрахункова частина</i>	<i>31.10.2022</i>	
<i>3</i>	<i>Техніко-економічне обґрунтування розробки</i>	<i>30.09.2022</i>	
<i>4</i>	<i>Розробка заходів із охорони праці та техногенної безпеки</i>	<i>30.09.2022</i>	
<i>5</i>	<i>Розробка графічної частини роботи</i>	<i>21.11.2022</i>	
<i>6</i>	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>21.11.2022</i>	
<i>7</i>	<i>Нормоконтроль</i>	<i>29.11.2022</i>	
<i>8</i>	<i>Попередній захист роботи</i>	<i>09.12.2022</i>	

Студент \_\_\_\_\_ Новохатній І.П.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ Світанько М.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

#### Нормоконтроль пройдено

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

## Реферат

Дипломна робота містить 139 сторінок, 76 рисунків, 22 таблиці, 66 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – акустичні інформаційні системи.

Мета роботи – дослідження та розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості.

Завдання роботи – провести аналіз існуючих систем реєстрації акустичних сигналів, та обрати для подальшого аналізу найбільш оптимальну і розробити на її основі мікропроцесорну акустичну систему високої спектральної чутливості.

Методика досліджень – моделювання пристрою за допомогою програмних САПР Proteus, Electronics Workbench 5.12, Layout 4.0.

Короткий виклад результатів досліджень – параметри розробленої системи демонструють можливість реєстрації слабких акустичних сигналів із роздільною здатністю від 8 до 40 мВ/Па.

Результати впровадження – макет електронного приладу пройшов випробування на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – рекомендується подальша доробка схеми для впровадження в технологію «розумний будинок».

**АКУСТИЧНИЙ ДАДЧИК, МІКРОФОН, МІКРОПРОЦЕСОР,,  
PROTEUS.**

Дипломну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 01.09.2022 р. по 10.12.2022 р.

## Зміст

	Стор.
Вступ .....	7
1 Обладнання акустичних інформаційних систем.....	9
1.1 Стан розвитку сучасних акустичних інформаційних систем.....	9
1.2 Електроакустика.....	11
1.2.1 Мікрофон.....	13
1.3 Гідроакустика.....	17
1.3.1 Однопроменеві ехолоти.....	17
1.3.2 Багатопроневі ехолоти.....	19
1.3.3 Гідролокатор бічного огляду.....	20
1.3.4 Профілографи морського дна.....	22
1.4 Медична акустика.....	23
1.4.1 Електронні стетоскопи із підсилювачами звуку.....	23
1.4.2 Бронхофонографічне дослідження.....	24
1.4.3 Метод пасивної ехолокації.....	25
1.4.4 Фонокардіографи.....	25
1.4.5 Ауодіометри.....	26
1.4.6 Ультразвукова діагностика.....	27
1.4.7 Ультразвукова фізіотерапія.....	30
1.5 Будівельна й архітектурна акустика.....	30
1.6 Акустичні методи неруйнівного контролю.....	31
1.7 Акустичний інтерферометр.....	37
1.8 Акустичні сенсори вимірювання температури.....	39
1.9 Акустoeлектронні сенсори фізичних величин.....	40
2 Розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості.....	45
2.1 Структурна схема сучасних акустичних інформаційних систем .....	45
2.2 Акустичний приймач .....	47

2.2.1 Мікрофон.....	48
2.2.2 Пасивний смуговий RC-фільтр.....	49
2.2.3 Підсилювач.....	54
2.2.4 Пристрій відновлення цифрового сигналу.....	56
2.3 Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації .....	59
2.3.1 Засіб введення цифрової інформації .....	62
2.3.2 Двійковий шифратор.....	62
2.3.3 Накопичувач інформації.....	66
2.3.4 Пристрій (схема) приймання цифрового сигналу.....	69
2.3.5 Розрахування двійкового лічильника.....	70
2.3.6 Схема керування виконавчими пристроями.....	78
2.3.7 Побудування логічної схеми мікропроцесорного пристрою.....	80
2.3.8 Розрахування та моделювання генераторів тактових імпульсів.....	81
2.3.9 Побудування мікропроцесорного пристрою за допомогою інтегральних мікросхем.....	86
2.4 Виконавчі пристрої .....	88
2.4.1 Звуковий оповіщувач SA-103.....	88
2.4.2 Світловий оповіщувач M-06.....	89
2.4.3 Світло-звуковий оповіщувач ATIS LD-95.....	89
2.4.4 Комутування електричних кіл виконавчих пристроїв.....	90
2.5 Розроблення друкованої плати пристрою .....	94
3 Техніко – економічне обґрунтування виготовлення електронних схем мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості .....	99
3.1 Обґрунтування теми дипломного проектування.....	99
3.2 Розрахунок за методом аналізу ієрархій.....	99
3.2.1 Обґрунтування вибору критеріїв.....	101
3.2.2 Розрахунок глобального пріоритету для кожної альтернативи.....	102
3.3 Розрахунок витрат на елементи розробленого пристрою .....	107
4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем	

мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості .....	110
4.1 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	111
4.2 Виробнича санітарія .....	112
4.3 Електробезпека .....	115
4.4 Пожежна безпека. Техногенна безпека .....	116
4.5 Розрахунок електромагнітного випромінювання від моніторів в приміщенні лабораторії .....	120
Висновки та рекомендації .....	123
Перелік посилань.....	124
Додаток А .....	132

## Вступ

Слово «акустика» походить від грецького слова «ακουστικός», що в перекладі означає «слуховий, чутний».

Акустика – одна з найдавніших галузей знань людини, яка зародилася внаслідок потреби дати пояснення слуховим і мовним явищам. Її становлення як вчення про звук в межах розвитку теорії коливань та хвиль тісно пов'язане з багатьма іншими науковими напрямками. В історії розвитку акустики виділяють три періоди.

Перший період історії розвитку акустики – починаючи зі стародавньої історії та до кінця XVII ст., який характеризують дослідження походження музикальних тонів.

Протягом другого періоду (кінець XVII ст. і до початку XX ст.) акустика розвивається переважно як розділ механіки. Було створено загальну теорію механічних коливань, випромінювання та поширення пружних хвиль у середовищах, розроблено методи вимірювання характеристик звуку.

Третій період в історії розвитку акустики починається з 1920-х років і дотепер. Повністю сформувалась механіка та акустика суцільного середовища. Створена математична теорія хвильового руху, що ґрунтується на диференціальних рівняннях в частинних похідних. Було розв'язано більшу частину прикладних задач, як-от резонансні коливання пластин, задачі поширення, відбиття, інтерференції та дифракції хвиль. Розвивалися дослідження з фізіології слуху. Подальший прогрес у галузі акустики пов'язаний з розвитком радіофізики та засобів обчислювальної техніки.

Сучасна акустика охоплює широке коло питань, змикається з низкою розділів людського знання та має надзвичайно різноманітне застосування.

Сьогодні для заощадження часу, підвищення рівня безпеки або урізноманітнення дозвілля дедалі частіше в житлових приміщеннях



запроваджують систему домашньої автоматизації («Розумний будинок»), що являє собою сукупність певних пристроїв та налаштувань, здатних забезпечити контроль виконання повсякденних завдань без участі людини. Залежно від різних побутових напрямків та призначень такі системи здійснюють централізовану корекцію освітлення для оптимізації споживання енергії, забезпечення належного мікроклімату, керування електроприладами та системою водопостачання, безпеку приміщення, як-от моніторинг або «імітацію присутності» для введення в оману зловмисників тощо.

З огляду на властивості поширення пружних коливань та хвиль в різних природних та матеріальних середовищах розроблення та інтеграція в єдину систему домашньої автоматизації акустичної інформаційної системи керування освітленням і захистом приміщення є досить актуальним. [10,18]

## 1 Обладнання акустичних інформаційних систем

### 1.1 Стан розвитку сучасних акустичних інформаційних систем

Для надання більшої наочності щодо структури сучасної акустики скористаємося створеною 1964 року круговою картою американського акустика та головного редактора Журналу американського акустичного товариства (1957–1975) Роберта Брюса Ліндсея (1900–1985).

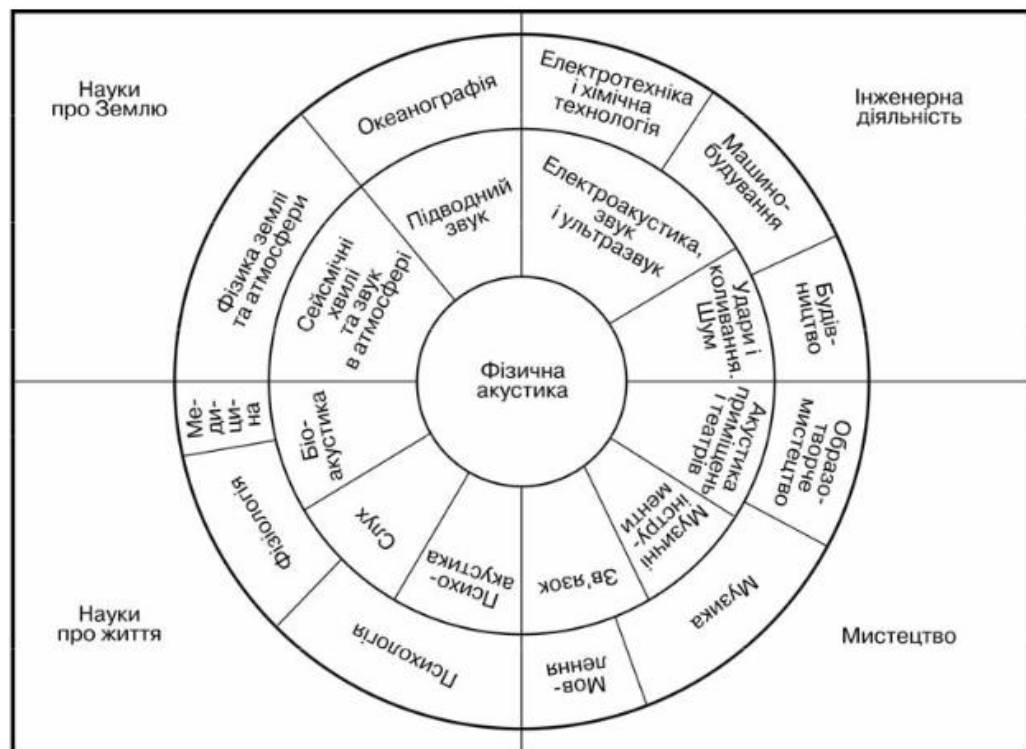


Рисунок 1.1 – Кругова карта акустики Р.Б. Ліндсея [18]

Така діаграма на рисунку 1.1 ставить у центр фізичну акустику як основу для використання фундаментальних знань з теорії коливань та теорії поширення хвиль для розв'язку широкого кола прикладних проблем. Звук, по суті – це специфічний тип хвильового руху в різних матеріальних середовищах, пов'язаний з наявністю відносних зміщень окремих частин

середовища (що мають масу) та здатністю середовища відновлювати незбурений стан внаслідок внутрішніх пружних сил.

Кільця навколо центра діаграми поділено на окремі сектори. За змістом сектори першого кільця близькі до зазначених секцій акустичної конференції. Сектори зовнішнього кільця вказують на більш широкі галузі прикладної діяльності та зв'язки цих галузей з відповідними розділами акустики. У зовнішній частині виділені чотири квадрати, які інтегрально становлять важливі галузі людської діяльності, пов'язані з акустикою.

У наступних підрозділах першої частини дипломного проекту проведено аналітичний огляд обладнання акустичних інформаційних систем, який полягає в дослідженні функціонування технічних засобів випромінювання, поширення та приймання пружних коливань і хвиль в різних природних середовищах для забезпечення інформаційних потреб щодо розв'язку широкого кола питань прикладної діяльності відповідних розділів акустики. [1,3,10,18,29,50]

Таблиця 1.1 – Діапазони частот пружних коливань [24]

Назва коливань і хвиль	Якісне визначення	Частота, Гц	
		фізичний діапазон	умовний діапазон
Інфразвук	Нижче порогу чутності	Нижче 16...25	Нижче 20
Звук	Діапазон чутності	Від 16...25 до $(15...20) \cdot 10^3$	$20...20 \cdot 10^3$
Ультразвук	Вище порогу чутності	Від $(15...20) \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^3...1 \cdot 10^9$
Гіперзвук	Довжина хвилі менше довжини пробігу молекул повітря	Вище $10^9$	Вище $10^9$

## 1.2 Електроакустика

Для характеристики електроакустичного обладнання в навчальному посібнику [33] вводять такі поняття: електромеханічний перетворювач, електроакустичний перетворювач.

Електромеханічний перетворювач (ЕМП) – перетворює енергію механічних коливань в енергію електричного поля, і навпаки.

Електроакустичний перетворювач – окремий випадок ЕМП. Від ЕМП відрізняється тим, що на механічному боці механічні коливання описують як параметри звукового поля ( $F[\text{Н}] \rightarrow P[\text{Па}], v \left[ \frac{\text{м}}{\text{с}} \right] \rightarrow w \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right]$ ). Можна представити перетворювач як чотиріполюсник. Розрізняють перетворювачі-двигуни і перетворювачі-генератори.

Перетворювачі-двигуни перетворюють енергію електричних коливань в механічні коливання (рисунок 1.2).

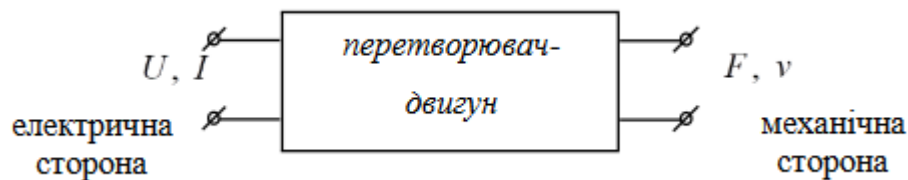


Рисунок 1.2 – Перетворювач-двигун як чотиріполюсник [33]

До перетворювачів-двигунів відносять:

- гучномовці – перетворювачі, що дають змогу отримати акустичні хвилі з електричних коливань і призначені для випромінювання акустичної потужності в навколишнє середовище;
- вібратори (збуджувачі коливань);
- сигнальні пристрої;
- сирени (електросирени) – електромеханічні прилади загальноміської системи оповіщення, призначені для випромінювання

звукових сигналів у повітряному середовищі для оповіщення населення в разі виникнення надзвичайних ситуацій. Можуть використовуватися і для організації локальної мережі на підприємствах зі шкідливими або потенційно небезпечними виробництвами (рівень звукового тиску на відстані одного метра від вісі електросирени – переважно 120 дБ);

- рекордери (пристрої, призначені для запису сигналу на фізичний носій);
- гідроакустичні перетворювачі;
- ультразвукові випромінювачі.

Перетворювачі-генератори перетворюють енергію механічних коливань в електричні коливання.

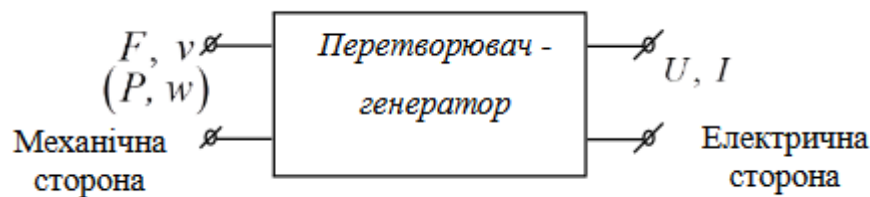


Рисунок 1.3 – Перетворювач-генератор як чотириполюсник [33]

До перетворювачів-генераторів відносяться:

- мікрофони;
- гідрофони – спеціалізовані мікрофони, призначені для використання у водному середовищі;
- віброметри – прилади, призначені для вимірювання кутових зміщень тіл, що вібрують (коливаються);
- сейсмометри – прилади, які вимірюють зсув ґрунту, частин будівель тощо, що спричинене коливаннями земної поверхні;

- ларингофони – контактні мікрофони, які перетворюють механічні коливання шкіри ділянки гортані людини під час розмови в електричний аудіосигнал;
- звукознімачі – пристрої, призначені для перетворення коливання струн в електричний сигнал.

Перетворювачі, які допускають перетворення енергії в обох напрямках, називають оборотними. Ті, які можуть працювати тільки в одному напрямку, називають необоротними, наприклад, вугільний мікрофон, п'езорезистивні перетворювачі. [16,33,39,42]

Детальніше розглянемо влаштування мікрофона як електроакустичного обладнання інформаційних систем.

### 1.2.1 Мікрофон

Мікрофон – це електроакустичний перетворювач, що перетворює акустичні коливання повітряного середовища в електричні сигнали.

Мікрофони класифікують за такими ознаками:

- 1) спосіб перетворення механічних (акустичних) коливань в електричні: електродинамічні (котушкові і стрічкові), конденсаторні, електретні, електромагнітні, п'езоелектричні, вугільні, напівпровідникові;
- 2) спосіб приймання звукових коливань або впливу звукових коливань на діафрагму: приймачі тиску, приймачі градієнта тиску, комбіновані;
- 3) вид діаграми спрямованості (ДС): неспрямовані (кругові), двостороннє-спрямовані (вісімкові або косинусоїдні), одностороннє-спрямовані (кардіоїдні), гостроспрямовані;
- 4) конструктивне виконання: ручні, вбудовані, стійкові, настільні, петличні, інструментальні, для гарнітури, параболічні;

5) функціональне призначення (галузь застосування): студійні, концертні, мовні, репортажні [2], службового зв'язку, систем озвучення, вимірювальні, спеціальні.

б) група складності: побутові, професійні.

Наведемо основні технічні характеристики (параметри) мікрофонів.

Чутливість – відношення напруги на виводах (клемах) мікрофона  $U$  до звукового тиску  $p_{зв}$ , що діє на мікрофон:

$$E = \frac{U}{p_{зв}} \left[ \frac{\text{мВ}}{\text{Па}} \right]. \quad (1.1)$$

Рівень чутливості – чутливість, виражена в децибелах щодо величини 1В/Па.

$$N_E = 20 \lg \frac{E}{E_0} = 20 \lg \frac{E}{1} = 20 \lg E \text{ [дБ]}. \quad (1.2)$$

Зазвичай, чутливість сучасних конденсаторних мікрофонів – в межах від 8 до 40 мВ/Па, динамічних – від 0,1 до 5 мВ/Па. Наприклад, мікрофон DPA Type 3530 має чутливість 10 мВ/Па і рівень чутливості –40 дБ, мікрофон С-3000В фірми AKG – 25 мВ/Па (–32 дБ).

Внутрішній опір мікрофона ( $z_i$ ) – для більшої частини мікрофонів цей опір є активним і майже не залежить від частоти. Визначає вимоги щодо вхідного опору пристрою (переважно підсилювача), до якого підключають мікрофон.

Акустична характеристика визначає характеристику спрямованості мікрофона. За видом акустичної характеристики розрізняють три типи мікрофонів: приймачі тиску, градієнту тиску, комбіновані.

Характеристика спрямованості – залежність чутливості мікрофона у вільному полі від кута  $\theta$  між робочою віссю і напрямком на джерело звуку. Нормовану характеристику спрямованості оцінюють відношенням чутливості мікрофона  $E_\theta$ , виміряної під час надходження звуку під кутом  $\theta$ , до осьової чутливості  $E_{ос}$ :

$$R(\theta) = \frac{E_{\theta}}{E_{oc}}. \quad (1.3)$$

Більша частина мікрофонів має осьову симетрію, тому характеристика спрямованості для них однакова у всіх площинах.

За характеристикою спрямованості розрізняють неспрямовані мікрофони, мікрофони двосторонньої спрямованості, мікрофони односторонньої спрямованості.

Графічне представлення характеристики спрямованості переважно подають в полярних координатах, і такий графік називають діаграмою спрямованості.

Номинальний діапазон частот – частотний діапазон, в межах якого визначають параметри мікрофона (визначає виробник).

Частотна характеристика – залежність рівня чутливості від частоти.

Нерівномірність частотної характеристики – це різниця між максимальним і мінімальним значенням рівня чутливості в номінальному діапазоні частот.

Рівень власних завад (шумів) – визначають як рівень еквівалентного звукового тиску шуму  $p_{ш}$ , в разі дії якого на мікрофон утворено вихідну напругу мікрофона  $U_{ш}$ , що розвивається їм за відсутності звукових коливань, тобто

$$L_{ш} = 20 \lg \frac{p_{ш}}{p_0}, \quad (1.4)$$

де  $p_{ш} = \frac{U_{ш}}{E_{oc}}$ , а  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Це означає, що вимірюють напругу на виході мікрофона за відсутності звукового тиску, зумовлену тільки внутрішніми шумами, і потім визначають, якому звуковому тиску вона могла б відповідати.

До параметрів мікрофона також відносять робочий діапазон температури і вологості навколишнього середовища, в межах якого чутливість не повинна змінюватися більше, ніж на  $\pm 2$  дБ. Електродинамічні мікрофони мають робочий діапазон переважно від  $-40^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$ С і 95%



вологості за температурою 20°C, конденсаторні – від -10°C до +35°C і 85% вологості за 20°C.

Для більшої частини мікрофонів осьову чутливість мікрофона можна представити як добуток чутливості окремих ланок, що входять в нього:

$$E_{oc} = \frac{U}{p} = \frac{F}{p} \cdot \frac{v}{F} \cdot \frac{\varepsilon}{v} \cdot \frac{U}{\varepsilon}, \quad (1.5)$$

де  $\frac{F}{p}$  – акустична чутливість;  $\frac{v}{F} = \frac{1}{Z_{mex}}$  – механічна чутливість;  $Z_{mex}$  – механічний опір рухомої системи мікрофона;  $\frac{\varepsilon}{v} = K$  – коефіцієнт електромеханічного зв'язку;  $\varepsilon$  – ЕРС на клеммах мікрофона,  $v$  – коливальна швидкість рухомої частини мікрофона;  $\frac{U}{\varepsilon} = \frac{R_n}{R_n + Z_i}$  – електрична навантажувальна характеристика, де  $R_n$  – опір навантаження,  $Z_i$  – внутрішній опір мікрофона.

Світова аудіопромисловість випускає велику кількість мікрофонів.

Більшу частину мікрофонних стереосистем поділяють на такі групи: роздільні стереосистеми (AB, DIN stereo, NOS stereo, ORTF stereo, Baffled stereo); поєднані стереосистеми (XY stereo, MS stereo, Blumlein stereo); бінауральні стереосистеми (Binaural stereo); системи для просторового звучання Surround Sound (Soundfield, SPL array тощо); системи з адаптивним цифровим управлінням (Audio-Technica AT 895, Microtech Gefell KEM 970 тощо).

Інтенсивний розвиток всіх видів звуковідтворювальної та звукозаписувальної апаратури щороку зростає. Поруч з великим різноманіттям відносно недорогих масових моделей велику частину становлять високоякісні акустичні системи, що відносяться до категорії Hi-Fi («високої точності відтворення»). Цей термін відображає основний принцип в розвитку певного напрямку звуковідтворювальної та звукозаписувальної апаратури, що полягає в забезпеченні максимальної точності відтворення мовленнєвих або музикальних програм. [4,16]

### 1.3 Гідроакустика

Звукові хвилі – єдиний вид хвиль, які мають можливість розповсюджуватися в морському середовищі без великого послаблення на значні відстані, тому на їхній основі створюються дистанційні методи і технології вивчення рельєфу дна; дослідження складу і різноманітних властивостей морських ґрунтів і відкладних порід; визначення глибин і виявлення рухомих і нерухомих об'єктів; дослідження стану підводних частин гідротехнічних споруд; неоднорідностей морського середовища; розвідки сировинних і біологічних ресурсів; висвітлення підводного оточення в зоні відповідальності тощо.

Більша частина цих технологій має однорідні складові та може використовуватися для розв'язку декількох задач, тобто є технологіями подвійного призначення.

У цьому підрозділі наведено огляд обладнання гідроакустичних інформаційних систем, як-от однопроменеві ехолоти, багатопроменеві ехолоти, гідролокатори бічного огляду, профілографи.

У військово-морських флотах провідних морських держав найсерйозніша увага приділяється розвитку корабельного гідроакустичного озброєння. [13,21,35]

#### 1.3.1 Однопроменеві ехолоти

Однопроменеві ехолоти генерують акустичні Р-хвилі (первинні хвилі – поздовжні або компресійні хвилі), які поширюються у водному середовищі. У разі стикання таких хвиль із середовищем, що має інші фізичні властивості (швидкості поширення), виникає відбиття, розсіювання і передавання хвиль.

Унаслідок цього процесу деяка частина енергії повернеться назад до середовища генерування, що дає змогу визначити час поширення хвилі.

Завдяки застосуванню сучасної електронної бази та персональних комп'ютерів, придатних працювати в складних умовах, було досягнуто підвищення надійності конструкції систем, зменшено масо-габаритні показники виробу і розширені функціональні можливості апаратури.

Модель/Фірма	Hydrotrac II (Teledyne Odom hydrographic)	Echotrac CV1000 (Teledyne Odom hydrographic)	Echotrac CV200/300 (Teledyne Odom Hydrographic)	Echotrac МКIII (Teledyne Odom hydrographic)	BATHY- 2010PC (SyQwest Inc.)	HydeoStar 4900 (L3-Elac)	HydroStar 4300 (L3-Elac)
Параметри							
Тип судна	Відкрите, закрите	Відкрите, закрите	Закрите	Закрите	Закрите		
Частота, кГц	24-30	3,5-750	3,5-1000	3,5-1000	3,5-200	10-1000	30-200
Вихідна потужність, Вт	600	300	2000	2000	4000	2000	800
Вхідна напруга, В	11-28	9-32	220/50	220/24	220/75	220	230/40
Роздільна здатність, м	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Точність, м	0,1	0,1	0,18	0,18	0,25	0,3	0,1
Діапазон глибин, м	600 або 1800	0,3-600	0,2-4000	0,2-4000	10-5000	0-10000	0-1000
Принтер	+		+	+	+		
Дисплей	+		+	+	+	+	
Синхронізація			+				
Робочі температури, °C	0-45	0-50	0-50	0-45	0-50		
Розміри, мм	368x419x203	280x230x115	89x432x325	450x450x300	375x483x133	400x505x422	470x350x210
Вага, кг	10,2	5	16	16	8,16 + ПК	25	17
Кількість каналів	1	1	2	2	1	1	2
Тип живлення (AC/DC)	DC	DC	AC, DC	AC, DC	AC, DC	AC	AC
Опції	+	+		+			
Інтерфейс	RS232, RS422, Ethernet		RS232, RS422	RS232, RS422	RS232, Centronics		

Рисунок 1.4 – Характеристики й параметри моделей сучасних однопроменевих ехолотів [14]

На рисунку 1.5 зображено структуру ехолота BATHY-2010PC. Систему BATHY-2010PC виконано як універсальний акустичний комплекс, який поєднує в собі засоби генерації й приймання акустичних сигналів. Цей комплекс можна застосовувати як для малоглибинних, так і глибинних гідрографічних досліджень, а також піддонного профілювання. [14,15]

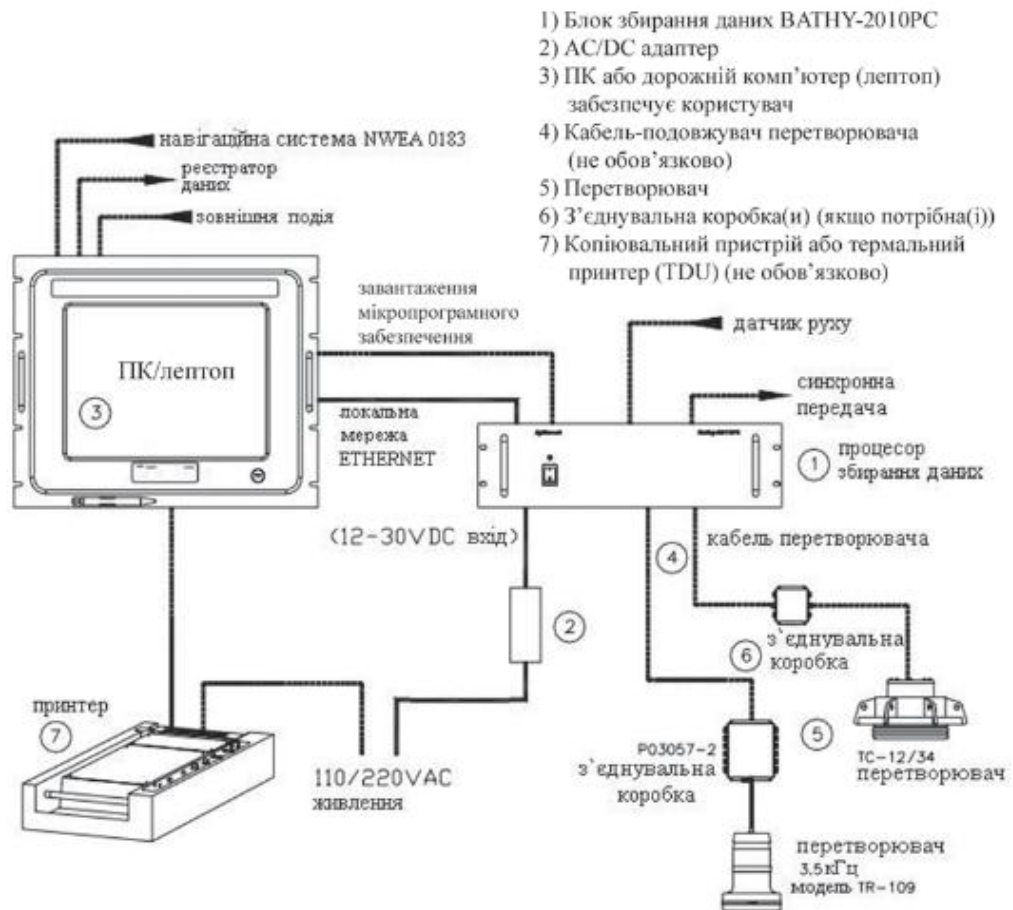


Рисунок 1.5– Структура однопроменевого ехолота BATHY-2010PC (США) [14]

### 1.3.2 Багатопроменеві ехолоти

Багатопроменеві ехолоти використовують для площинних досліджень та акустичної класифікації морського дна, водночас однопроменеві ехолоти набули поширення переважно для визначення глибини води під судном.

Багатопроменеві ехолоти здійснюють одночасне генерування акустичних хвиль та приймання їх в морському середовищі.

Нові багатопроменеві системи формують смугу зондувань, яка в сучасних глибоководних системах забезпечує смугу покриття на дні моря, що може бути до семи разів більшою, ніж глибина моря (в найглибших місцях вона може становити до 14 км). З отриманим матеріалом про

зондування виконують складання топографії морського дна. Так системи багатопроменевих ехолотів використовують для збільшення покриття вкритих водою ділянок.

Для забезпечення функціонування багатопроменевого ехолота до його складу вводять матриці передавання й приймання даних, електронне обладнання для передавання й приймання даних, інтерфейс з опціями системного керування та опрацювання результатів у режимі реального часу та допоміжні системи, як-от система позиціонування, блок давачів (датчиків) положення, зокрема крену, тангажу, вертикального коливання і значення вертикального переміщення та вимірювача швидкості звуку у воді (SVP).

Деякі з багатопроменевих ехолотів дають змогу зображувати стовп води, в якому просочується газ з морського дна з високою якістю завдяки використанню великої кількості променів під час дослідження, зокрема, майже, до тисячі променів, як-от, наприклад, у моделі SB3050 фірми ELAC (Німеччина). [12,14,19]

### 1.3.3 Гідролокатор бічного огляду

Гідролокатори бічного огляду (ГБО) застосовують для картографічного знімання морського дна через отримання акустичних зображень для ідентифікації розміщених на дні моря підводних об'єктів і проведення класифікації морського дна. Принципи дії гідролокатора бічного огляду в морському середовищі відображено на рисунку 1.6.

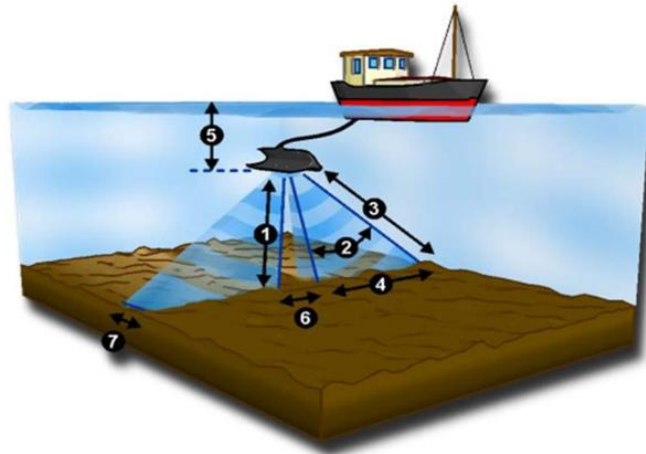


Рисунок 1.6 – Схематичне відображення принципу дії гідролокатора бічного огляду в морських умовах: 1 – глибина занурення звукового імпульсу; 2 – вертикальний кут променя; 3 – максимальний звуковий діапазон (визначають за допомогою програмного забезпечення); 4 – ширина смуги огляду дна; 5 – глибина занурення ГБО від поверхні моря; 6 – смуга поділу лівого й правого каналів і «мертва зона»; 7 – горизонтальна ширина променя [15]

ГБО дає змогу здійснити вивчення неоднорідностей поверхні морського дна.

Акустичні імпульси, що мають частоту більше 50 кГц, випромінюють перетворювачі, установлені в рибоподібній гондолі, яку тягнуть на буксирі на віддалі 15–160 м від морського дна залежно від потрібної глибинності й роздільної здатності. Промінь гідролокатора поширюється як вузький пучок в напрямку судна, оскільки формується лінійною групою елементів. Неоднорідності поверхні морського дна (корінні породи, трубопроводи, затонулі об'єкти, валуни тощо), а також форми рельєфу поверхні донних осадів впливають на амплітуду відбитих сигналів. Часи надходження хвиль визначають віддаль від гондоли до відбивних об'єктів. [15]

### 1.3.4 Профілографи морського дна

Профілографія морського дна ґрунтується на сейсмоакустичному профілюванні методом відбитих хвиль. Під час досліджень акваторій найчастіше використовують іскрове джерело як іскровий розрядник і одну чи дві групи гідрофонів.

Сейсмоакустичне профілювання часто використовують разом з гравіметричним та іншими різновидами геофізичних досліджень, зокрема під час океанографічних, рекогносцирувальних та інженерних досліджень.

Нижче наведено найширше застосовувані сьогодні профілографи морського дна різних фірм і їхнє оснащення. [15]

Джерело пружних хвиль	Робоча частота, кГц	Метод генерування	Розстановка приймачів	Роздільна здатність, м	Глибина проникнення, м	Монтаж джерела	Особливості, недолки
Sparker	0,05-4,0	Електрична іскра у воді	Буксирна приймальна коса	>2	500	Буксир	Обмежена глибина до 1500 м
Chiper	1-10	ЛЧМ розгортка	Перетворювач	≈0,05	< 100	Корпус судна чи буксир	Обмежена глибина
Boomer	0,3-3,0	Електродинамічний збудник	Буксирна коса	0,5-2,0	< 200	Санки	Обмежена глибина
Pinger	Фіксована частота в діапазоні 2-12	Комбінований перетворювач збудник приймач	Комбінований перетворювач збудник/приймач	0,2	10-50	Корпус судна	Обмежена глибина
Strata Box 3510	Дві частоти 3,5/10	Перетворювач TR-109; P074462	Перетворювач TR-109; P074462	0,06 (до 40 м), 0,15 (до 100 м)	2,5-800	Кільце з анодованого алюмінію	Міжковдні зміщення 600/1000 Вт в імпульсі 3,5 кГц; 300 Вт у разі 10 кГц
SES-2000 standart	Підводна приймально-передавальна антена 4-45	Перетворювач	Виносний кабель для приймально-передавальної антени	0,05-0,2	50	Монтажний підводний кабель 30 м	Потужність 18 кВт, 500 м глибина моря, ГБО-модуль 100 кГц
Bathy-2010	3,5-200	Немає відомостей	Немає відомостей	0,08 (до 300 м)	Немає відомостей	Стийка завдовжки 19 дюймів	Потужність 4 кВт (імпульсна) Максимальна глибина 12000 м
EDGE Tech 2000-DSS	2-16	Немає відомостей	Немає відомостей	0,06-0,1	80	Немає відомостей	Має ГБО, CHIRP-збудник, занурення до 2000 м

Рисунок 1.7 – Характеристики й параметри найбільш застосовуваних профілографів морського дна [15]

## 1.4 Медична акустика

Звук є джерелом інформації про стан внутрішніх органів людини. Робота серця, легенів та інших органів супроводжується звуковими явищами. Знаючи, якими повинні бути ці звуки за нормального функціонування органів і тканин, лікарі визначають характер захворювання або пошкодження органа в разі виникнення певної патології.

У цьому підрозділі наведено огляд медичного обладнання акустичних інформаційних систем, що застосовують як для діагностики, так і для організації терапевтичних процедур. [22,25,37,43]

### 1.4.1 Електронні стетоскопи з підсилювачем звуку

Прослуховування і аналіз тонів та шумів, які виникають під час функціонування внутрішніх органів, називають аускультациєю. Від характеру аускультативних звуків (крепітація, сухі чи вологі хрипи, шум тертя плеври) залежить клінічний діагноз. Для прослуховування звуків використовують фонендоскоп. Його принцип дії ґрунтується на резонансному підсиленні звуку.

Для вислуховування дихальних шумів також були запропоновані електронні стетоскопи з підсилювачем звуку, проте такі стетоскопи не дуже поширені у практиці лікарів, що насамперед пов'язано з їхньою високою ціною. Стетоскоп сконструйований як ізольована акустична система, що складається з контактної воронки з мембраною, полімерних м'яких трубочок та навушників. В цій системі провідником звуку є повітря. Коли лікар проводить аускультацию, то він прикладає до шкіри пацієнта воронку з мембраною, водночас шкіра пацієнта також діє як мембрана, акустичні властивості якої міняються залежно від сили натиску. Чим сильніше натискає



лікар на шкіру пацієнта, тим гірше проводяться звуки низьких частот та навпаки. Крім того, має значення розмір воронки з мембраною. [6]

#### 1.4.2 Бронхофонографічне дослідження

Бронхофонографічне дослідження легень є методом оцінки патерну дихання, що ґрунтується на аналізі амплітудно-частотних характеристик спектра дихальних шумів.

Бронхофонографічне дослідження проводиться за допомогою комп'ютерного акустичного діагностичного комплексу. До його складу входить апаратний комплекс, давач (датчик) з загубником, персональний комп'ютер з вбудованим аналого-цифровим перетворювачем і програмним забезпеченням. Принцип методу полягає в реєстрації дихальних шумів за допомогою спеціальних датчиків з високою чутливістю в широкому спектрі частот, включно з тими частотами, які не виявляються під час аускультатії, але мають важливе діагностичне значення. Метод дає змогу зафіксувати тимчасову криву, пропорційну до акустичного шуму, що виникає під час дихання. Сканування респіраторного циклу проводиться в певному частотному діапазоні. Для усунення впливу низькочастотних кардіальних шумів є спеціальний низькочастотний фільтр.

Комп'ютерний комплекс відображає і фіксує дихальні шуми на екрані монітора, а також об'єктивно оцінює характеристики дихальних шумів, які не виявляються під час фізикального обстеження.

Ця методика має досить широкі можливості, але і є деякі недоліки, як-от неможливість виявити локалізацію джерела шумів, обмеженість в обстеженні пацієнтів за віком та станом свідомості. [6,7]

### 1.4.3 Метод пасивної ехолокації

Метод пасивної ехолокації – методика обстеження та виявлення джерела аускультативних шумів у дихальній системі людини за допомогою спеціального обладнання та віртуальної моделі дихальної системи людини. Ця методика являє собою порівняльний аналіз акустичних хвиль дихального патерну з еталоном, що зберігається в базі даних діагностичної системи. Після ідентифікації шумів проводиться їхній спектральний аналіз та за характеристиками отриманих шумів розраховується координата джерела.

Перевагами методу є невелика кількість малих акустичних датчиків, відсутність будь-яких випромінень у тіло пацієнта, відсутність маски для дихання, можливість проводити процедуру аускультативної навіть новонародженим та пацієнтам, що перебувають у непритомному стані. [6,7]

### 1.4.4 Фонокардіографи

Для діагностики серцевих захворювань використовують метод фонокардіографії (ФКГ), що ґрунтується на реєстрації та аналізі звуків, що виникають під час скорочення і розслаблення серця. Для фонокардіографії використовують спеціальні прилади – фонокардіографи або фонокардіографічні приставки, основними елементами конструкції яких є мікрофон (лінійний, стетоскопічний, логарифмічний для виділення діагностично значимих звукових феноменів як в аускультуючому, так і в спеціально обраному діапазоні частот), що перетворює звукові коливання в електричні; частотні фільтри, з'єднані з підсилювачами сигналів, що надходять від мікрофона; пристрій, що реєструє та забезпечує запис коливань до 1000 Гц зі швидкістю реєстрації 50 і 100 мм/с. [22]

### 1.4.5 Аудиометри

Втрату слуху досліджують методом аудіометрії. Для цього визначають поріг чутності для різних тонів на спеціальному приладі – аудіометрі. Такі прилади складаються з джерела звуку та телефону. Пацієнт надіває навушники, а лікар подає на них звук на різних частотах, змінюючи на кожній гучність звуку. Так визначається поріг чутливості – гучність звуку, за якої вухо вловлює сигнал. Документ, що фіксує результати обстеження, називається аудіограмою та являє собою криву порогу слухового сприйняття, подібну до з'єднаних точок у системі координат, на осі абсцис якої відкладено рівень інтенсивності тонів у децибелах (дБ), а на осі ординат відкладено висоту цих тонів у герцах (Гц). Порівняння аудіограми хворої і здорової людини дає змогу діагностувати захворювання органів слуху.



Рисунок 1.8 – Мікропроцесорний портативний аудіометр GSI-17 [22]

Мікропроцесорний портативний аудіометр GSI-17 дає змогу проводити тональну аудіометрію за повітряним звукопроведенням на 11 фіксованих частотах в діапазоні 125–8000 Гц з інтенсивністю від –10 до 100 дБ з цифровою індикацією на вбудованому рідкокристалічному дисплеї. Призначений для проведення масових скринінгових досліджень для виявлення порушень слуху без диференціальної діагностики типу туговухості. [22]

#### 1.4.6 Ультразвукова діагностика

Методи ультразвукової візуалізації отримали широке застосування в медицині. Основними методами ультразвукової діагностики є ехографія, сонографія та доплерографія.

Ехографія – це одномірне ультразвукове дослідження, в якому розрізняють А-метод та М-метод, що детально описані в посібнику [22].

Ультразвукове дослідження (сонографія) є одним з найбільш інформативних методів неінвазивної діагностики в медицині. Завдяки тому, що органи й тканини мають різну проникність для ультразвукових хвиль, від одних структур хвиля відбивається, іншими поглинається та проходить практично вільно. На цьому принципі ехолокації ґрунтується функціонування УЗД-сканерів – відбиті від неоднорідних структур ультразвукові хвилі опрацьовуються комп'ютером і на екрані монітора отримують зображення певних зрізів досліджуваних об'єктів.

На рисунку 1.9 зображена блок-схема УЗ-сканера з лінійним випромінювачем.

Ультразвуковий сканер переважно містить: блок механічного або електронного сканування; електронний пристрій оброблення сигналів з керуванням рівня випромінюваної потужності, частотою випромінювання та іншими параметрами; дисплей для відображення акустичного зображення з регулюванням контрастності і яскравості; засоби для збереження зображень.

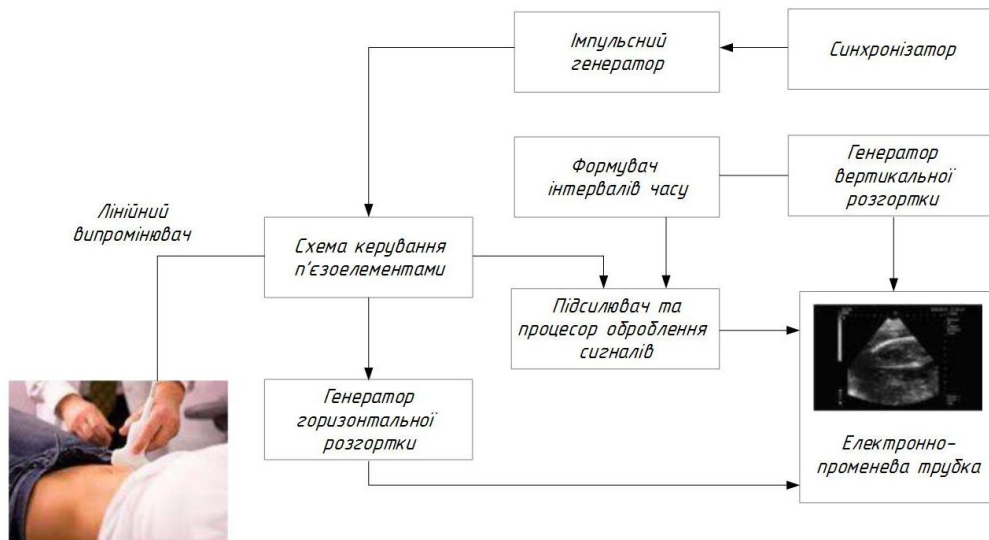


Рисунок 1.9 – Блок-схема УЗ-сканера [22]

В сучасній ультразвуковій діагностичній апаратурі використовуються датчики трьох типів: механічні секторні, електронні секторні та лінійні, які залежно від технології виготовлення і технічних характеристик забезпечують практично всю гаму ультразвукових (УЗ) функціональних досліджень.



Рисунок 1.10 – Датчики ультразвукового сканера [22]

УЗ-дослідження застосовують для діагностики захворювань, визначення перебігу вагітності, спостереження за динамікою процесу та оцінювання результатів лікування. Завдяки своїй безпечності УЗД є дуже поширеним, оскільки дає змогу отримати важливу інформацію про стан різних органів й систем – печінки, підшлункової залози, селезінки, нирок, щитоподібної залози, статевих органів тощо.

Під час дослідження серцево-судинної системи отримують інформацію про особливості будови серця та динаміку скорочень, про вроджені й набуті патології, ураження міокарда, ішемічну хворобу та інші супутні захворювання. До того ж УЗД застосовується для оцінювання та контролю дії лікувальних препаратів, для вивчення коронарного кровообігу.



Рисунок 1.11 – Ультразвукова діагностична багатопрофільна цифрова система SSD-3500 ProSound [22]

Значну роль у підвищенні ефективності діагностики патологічних процесів у магістральних артеріях головного мозку відіграє ультразвукова доплерографія (УЗДГ) – метод локації судин, що ґрунтується на ефекті Крістіана Доплера (1803–1853) і полягає в тому, що частота ультразвукових хвиль, відбитих від рухомого об'єкту, зокрема від еритроцитів у судинах, змінюється пропорційно до змін швидкості його переміщення. Це дає змогу реєструвати лінійну швидкість і напрямок кровотоку мозку.

Сьогодні застосовуються апарати для дуплексної (подвійної) УЗДГ, які дають змогу одночасно проводити ехотомографію і доплерографію, що забезпечує візуалізацію на екрані монітора не тільки функціональних показників кровотоку мозку, але і структурно-морфологічне зображення екстракраніальних судин. [22]

#### 1.4.7 Ультразвукова фізіотерапія

В механізмі дії ультразвуку виняткова роль належить його впливу на біоструктури. Ультразвуки великої інтенсивності (до  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup> і вище) використовуються для руйнування різного роду новоутворень (пухлин тощо). Подібний механізм дії ультразвуку застосовується також в стоматології (зняття зубних каменів, висвердлювання зубних каналів тощо). Процес руйнування біологічних тканин за інтенсивностях вище  $10^6$  Вт/м<sup>2</sup> використовується в ультразвуковій хірургії та під час ультразвукового остеосинтезу – зварювання тканин та кісток за допомогою значного підвищення в них швидкості процесів дифузії.

Прилади для ультразвукової фізіотерапії ґрунтуються на механічних та теплових ефектах, що виникають під час дії ультразвуку на різні біологічні тканини. [22]

#### 1.5 Будівельна й архітектурна акустика

Сьогодні для вимірювання акустичних параметрів приміщення застосовують спеціальну вимірювальну апаратуру, до якої відносять: тональні генератори, шумові генератори, вимірювачі звукового тиску, шумоміри, октавні фільтри, реверберометри, спектральні аналізатори, аналізатори гармонік, аналізатори амплітудних розподілів тощо.

За допомогою такого вимірювального обладнання можна визначити більшу частину акустичних параметрів приміщення та параметрів звукопоглинальних і звукоізоляційних матеріалів та конструкцій, зокрема час реверберації (процес поступового згасання звуку), відповідність шумів санітарним нормам за рівнем звуку, проводити аналіз акустичних сигналів і шумів, записувати часові процеси в приміщеннях тощо. [17]

## 1.6 Акустичні методи неруйнівного контролю

Досить перспективним з погляду наукового дослідження є галузь застосування акустичних коливань і хвиль для неруйнівного контролю властивостей і параметрів об'єкта, що ґрунтується на взаємодії з контрольованим об'єктом акустичних хвиль широкого діапазону частот. За такої умови інтенсивність коливань переважно невелика, не більше  $1 \text{ Вт/м}^2$ .

На рисунку 1.12 наведено класифікацію методів акустичного неруйнівного контролю.

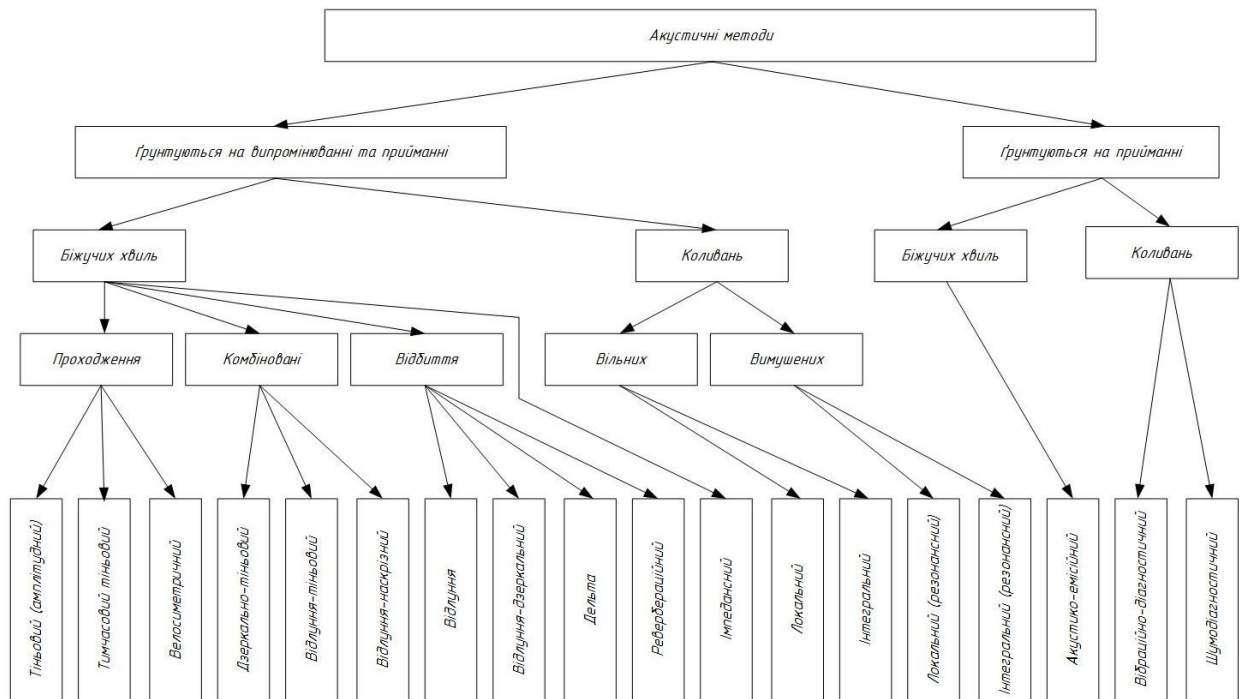


Рисунок 1.12 – Класифікація акустичних методів неруйнівного контролю [24]

Методи акустичного контролю поділяють на дві великі групи: активні, що ґрунтуються на випромінюванні й прийманні акустичних хвиль і коливань, та пасивні, що ґрунтуються тільки на прийманні акустичних хвиль і коливань. В кожній групі виділяють методи, які ґрунтуються на виникненні



в об'єкті контролю біжучих та стоячих хвиль (або коливань), та детально розглянуті в практичному посібнику [24].

Активні методи, в яких застосовують біжучі хвилі, поділяють на підгрупи: методи, що використовують проходження, відбиття хвиль, та комбіновані, що використовують як відбиття, так і проходження. Методи проходження припускають наявність двох перетворювачів – випромінювального і примального, розташованих по різні боки об'єкта контролю або його контрольованої ділянки. До цієї підгрупи відносять такі методи дефектоскопії.

Тіньовий (або амплітудно-тіньовий) метод ґрунтується на реєстрації зменшення амплітуди хвилі (так званого наскрізного сигналу), що пройшла, під впливом дефекту. Застосовують як імпульсне, так і (рідше) неперервне випромінювання для неруйнівного контролю клейових вузлів і виробів з композиційних матеріалів. Метод дає змогу виявляти зони з під'єднанням, порожнечі, пористість, розшарування тощо.

Тимчасовий тіньовий метод ґрунтується на вимірюванні запізнювання імпульсів, що спричинене огинанням дефекту. Цей метод використовують переважно для контролю будівельних матеріалів – вогнетривких цеглин, бетону тощо.

Велосиметричний метод ґрунтується на вимірюванні зміни швидкості поширення пружних хвиль у зоні розташування дефекту.

В методах відбиття використовують як один, так і два перетворювача; застосовують переважно імпульсне випромінювання. До цієї підгрупи відносять такі методи дефектоскопії.

Відлуння-метод ґрунтується на реєстрації відлуння-сигналів від дефектів. В монографії [28] є посилання на джерело [45], в якому описано застосування відлуння-методу для виявлення дефектів клейових з'єднань труб з полівінілхлориду.

У відлуння-дзеркальному методі аналізують сигнали, що зазнали дзеркального відбиття від донної поверхні об'єкта контролю і дефекту.

Дельта-метод відрізняється механізмом відбиття хвилі від дефекту і способом прийняття сигналу та використовується для пошуку специфічно розташованих дефектів.

Ревербераційний метод ґрунтується на аналізі часу об'ємної реверберації – процесу поступового згасання звуку в деякому об'ємі – контрольованому об'єкті. Наприклад, під час контролю двошарової конструкції час реверберації в шарі, з яким контактує перетворювач, буде менше в разі доброякісного з'єднання шарів, оскільки частина енергії буде переходити в інший шар.

В комбінованих методах використовують принципи як проходження, так і відбиття акустичних хвиль. Сюди відносять: дзеркально-тіньовий метод, що ґрунтується на вимірюванні амплітуди донного сигналу; відлуння-тіньовий метод, що ґрунтується на аналізі як хвиль, що пройшли, так і відбитих хвиль; відлуння-наскрізний метод ґрунтується на аналізі наскрізного сигналу та відлуння-сигналів від дефектів, відбитих в напрямку перетворювача. Як приклад застосування дзеркально-тіньового методу можна віднести контролювання рейок на вертикальні тріщини в шийці.

Від розглянутих методів відрізняється імпедансний, що ґрунтується на аналізі змінювання механічного або вхідного акустичного імпедансу ділянки поверхні контрольованого об'єкта, з яким взаємодіє перетворювач. Найчастіше використовується для контролю клейових, паяних, клепаних з'єднань. У приладах імпедансного типу датчик являє собою стрижень, на різних кінцях якого розташовані випромінювач і приймач. Випромінювач збуджує в стрижні коливання, а приймач фіксує їх.

Для використання методів коливання збуджують вільні або вимушені коливання або об'єкт контролю загалом (інтегральні методи), або його частину (локальні методи). Вільні коливання збуджують за допомогою короткочасного зовнішнього впливу на об'єкт контролю, наприклад, за допомогою ударяння молотком-вібратором, внаслідок чого об'єкт контролю коливається. Далі аналізують спектр порушуваних частот. Інтегральний

метод вільних коливань використовується, наприклад, для перевірки бандажів залізничних коліс або скляного посуду за частотою дзвону.

Вимушені коливання припускають постійний зв'язок (через перетворювач) об'єкта контролю, що коливається, зі збуджуючим генератором, частоту якого змінюють. Величини, що вимірюють, є частоти вільних коливань або резонансів вимушених коливань, які дещо відрізняються від вільних під впливом зв'язку зі збуджуючим генератором.

До пасивних методів акустичного контролю відносять акустико-емісійний (АЕ) метод, в якому використовують біжучі хвилі. Явище акустичної емісії полягає у випромінюванні пружних коливань об'єктом контролю внаслідок внутрішнього динамічного локального перебудування його структури. Такі явища, як-от виникнення та розвиток тріщин, перетворення кристалічної структури, рух скупчення дислокацій є найхарактернішими джерелами акустичної емісії. Перетворювачі, що контактують з об'єктом контролю, приймають пружні хвилі та дають змогу визначити наявність джерела емісії, а обробляючи сигнали, що проходять від декількох перетворювачів, – також розташування джерела.

До пасивних методів акустичного контролю, що ґрунтуються на збудженні пружних коливань в об'єкті контролю, відносяться також вібраційно-даїгностичні та шумодіагностичні методи. У першому з них аналізують параметри вібрації якої-небудь окремої деталі або вузла (ротора, підшипника, лопаті турбіни) за допомогою приймачів контактного типу. У другому вивчають спектр шумів працюючого механізму загалом на слух або за допомогою мікрофонних та інших приймачів і приладів – аналізаторів спектра.

За частотною ознакою всі розглянуті акустичні методи поділяють на низькочастотні та високочастотні. До перших відносять методи, що використовують коливання в звуковому і низькочастотному (до 100 кГц) ультразвуковому діапазонах частот. До других – методи, що використовують

коливання у високочастотному ультразвуковому діапазоні: переважно від декількох сотень кГц до 50 МГц.

До акустичних приладів неруйнівного контролю відносять акустико-емісійні комплекси, дефектоскопи імпульсні ультразвукові, імпедансні, резонансні, а також ультразвукові товщиноміри та течешукачі (для виявлення місць витоків підземних трубопроводів).



Рисунок 1.13 – Акустико-емісійний комплекс діагностування мостових конструкцій, бетонних та залізобетонних споруд [48]



Рисунок 1.14 – Датчик для реєстрації сигналів АЕ та електроди для створення електричного потенціалу на арматурному стрижні [48]

Сьогодні акустичний метод є одним із найпоширеніших методів неруйнівного контролю, що застосовується для оцінювання якості металевої і

нематалевої продукції, структурних змін сталевих, бетонних і залізобетонних конструкцій, виробів з композитного матеріалу, кераміки та пружних систем, для безконтактного виявлення та ідентифікації дефектів підземних нафтогазопроводів з поверхні землі, улаштування підземних виїмок та паль тощо.

Для отримання зображень мікроскопічних об'єктів та проведення аналізу щодо наявності в них прихованих дефектів, як-от пустот, тріщин або розшарувань, найбільшу перевагу віддають методу акустичної мікроскопії. Такий метод ґрунтується на здатності досліджуваного зразка мати власний акустичний опір. Межу розділу між двома матеріалами, що мають різний питомий акустичний опір, називають акустичним інтерфейсом. Під час потрапляння звукового імпульсу в акустичний інтерфейс частина звукової енергії відбивається, а інша частина – проходить межу розділу. Втрати енергії між матеріалом 1 і матеріалом 2 розраховують за формулою:

$$dB_{\text{loss}} = 10 \lg \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (1.6)$$

де  $Z_1$  – питомий акустичний опір матеріалу 1;  $Z_2$  – питомий акустичний опір матеріалу 2. Одиниця вимірювання  $Z_1$  та  $Z_2$  в системі SI –  $1 \text{ Па} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ .

Чим більша різниця опорів акустичного інтерфейсу, тим більша амплітуда відлуння звукового сигналу та вище контраст зображення. Метод акустичної мікроскопії є універсальним для неруйнівного контролю та має різноманітну галузь застосування: виробництво електронних і мікроелектронних приладів, фотовольтаїка, автомобілебудування, матеріалознавство, біотехнологія та фармацевтика.

Стандартна конструкція ультразвукового мікроскопа складається з генератора імпульсів, п'єзоелектричного перетворювача, який поєднує функції динаміка та мікрофона, а також приймача.

Широкого біомедичного застосування також набув метод фотоакустичної мікроскопії, що ґрунтується на явищі генерації звукових коливань внаслідок поглинання непервного лазерного випромінювання, що

водночас спричинює періодичне локальне нагрівання середовища та локальне підвищення тиску. [5,8,9,11,24,27,28,36,40,45,47,48,49,52,53]

### 1.7 Акустичний інтерферометр

Інтерферометр акустичний – це прилад для акустичних вимірювань, що реалізує метод, який ґрунтується на інтерференції плоских акустичних хвиль. На частотах звукового діапазону інтерферометр акустичний використовують в архітектурній акустиці, транспортному машинобудуванні та будівництві стосовно задач звукоізоляції, віброгасіння. За допомогою такого приладу визначають імпеданс акустичний, коефіцієнти відбиття та поглинання звуку зразків акустичних матеріалів, конструкційних елементів.

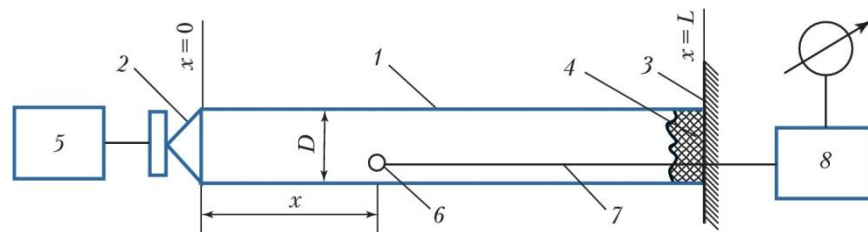


Рисунок 1.15 – Схема акустичного інтерферометра: 1 – акустична труба; 2 – випромінювач звуку; 3 – еталонний відбивач; 4 – зразок матеріалу; 5 – генератор; 6 – мікрофон; 7 – штанга; 8 – підсилювач [51]

Інтерферометри являють собою відрізок так званої акустичної труби (рисунок 1.15), на одному торці якого змонтований випромінювач звуку 2 поршневого типу (наприклад, електродинамічний). На другому торці встановлюють еталонний відбивач 3 з максимально високим акустичним імпедансом або досліджуваний зразок матеріалу 4. Під час збудження випромінювача напругою звукової частоти від генератора 5 вздовж вісі вимірювальної камери (акустичної труби) виникає система плоских стоячих

хвиль, що являє собою суперпозицію випромінюваної і багатократно відбитих хвиль між випромінювачем та досліджуваним зразком (або еталонним відбивачем). Просторовий розподіл результуючого звукового тиску в вимірювальній камері (вздовж вісі  $x$ ) реєструється мініатюрним мікрофоном 6, що переміщається в камері за допомогою тонкої штанги 7. Електричні сигнали з виходу мікрофона підсилюються лінійним широкосмуговим підсилювачем 8. Їхні амплітуди як функції відстані  $x$  до випромінювача є вихідними залежностями для розрахунку шуканих акустичних параметрів досліджуваного матеріалу або виробу. Діапазон робочих частот інтерферометра акустичного визначається розмірами вимірювальної камери; його граничні частоти

$$f_{\text{мін}} = \frac{v}{4L} \quad (1.7)$$

і

$$f_{\text{макс}} = \frac{v}{2D}, \quad (1.8)$$

де  $v$  – фазова швидкість звуку в середовищі, що заповнює камеру;  $D$  – діаметр вимірювальної камери;  $L$  – її довжина. Наприклад, у разі  $D = 10$  см і  $L = 5$  м робочі частоти інтерферометра акустичного лежать в діапазоні 16–1600 Гц.

Ультразвукові інтерферометри, що працюють на УЗ-частотах від десятків кГц до сотень МГц, використовуються в молекулярній акустиці та УЗ-спектроскопії для вимірювання фазової швидкості поширення  $v$  і коефіцієнта поглинання  $\alpha$  акустичних хвиль у газах та рідинах, акустичного аналізу біологічних рідин. [30,46,51]

## 1.8 Акустичні сенсори вимірювання температури

В екстремальних умовах (у діапазоні криогенних температур, високих рівнів радіації тощо) або в разі проведення вимірювань у замкненому герметичному об'ємі, де неможливо розмістити контактні сенсори або використовувати інфрачервоні перетворювачі, іноді дуже складно виміряти температуру об'єкта або середовища. У цьому разі застосовують акустичні сенсори температури, принцип дії яких ґрунтується на функціональній залежності швидкості звуку від температури середовища, через яке він поширюється.

Акустичний сенсор температури складається з трьох компонентів: ультразвукового випромінювача та приймача, а також герметичної порожнини, наприклад, трубки, заповненої газом. Випромінювач і приймач – це керамічні п'єзоелектричні пластини, акустично не зв'язані з трубкою, що забезпечує поширення звуку переважно через газ усередині трубки. Як газ найчастіше використовують повітря. Є також конструкції перетворювачів, у яких звук поширюється безпосередньо в досліджуваному середовищі, але необхідно дотримуватися умови сталості маси у вимірюваному обсязі газу. Для виготовлення трубки переважно використовують інвар (сплав заліза (Fe) з нікелем (Ni)).

Тактовий пристрій цього приладу працює на низькій частоті (близько 100 Гц). Його імпульси запускають передавач і блокують приймач. Приймач приймає сигнал лише тоді, коли отримує сигнал дозволу. Блок управління за часом поширення звукової хвилі в середовищі визначає швидкість звуку, за якою обчислюється температура середовища.

До переваг акустичного методу вимірювання температури можна віднести його широкий діапазон від  $-240^{\circ}\text{C}$  до  $+2500^{\circ}\text{C}$  (гранична похибка вимірювання становить  $1,5^{\circ}\text{C}$ ). До недоліків – складність конструкції та великі габарити вимірювальної системи. [38]



## 1.9 Акустоелектронні сенсори фізичних величин

В межах галузі акустоелектроніки вивчають збудження, поширення та приймання високочастотних механічних коливань, взаємодію цих коливань з електромагнітними полями й електричними зарядами для створення нових функціональних приладів на основі вказаних явищ, зокрема й сенсорів фізичних величин.

Основними матеріалами, що використовуються в акустоелектроніці, є п'єзоелектричні діелектрики і напівпровідники, складні «шаруваті» структури, які складаються з шарів п'єзоелектрика та напівпровідника, оскільки саме в цих середовищах спостерігається найсильніша взаємодія акустичних хвиль з електричними полями. До них відносяться п'єзодіелектрики – кварц ( $\text{SiO}_2$ ), ніобат літію ( $\text{LiTaO}_3$ ), п'єзокераміка; п'єзоелектричні напівпровідники – сульфід кадмію ( $\text{CdS}$ ), окисел цинку ( $\text{ZnO}$ ) та феромагнетик – залізо-ітрієвий гранат ( $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ).

Серед всіх типів акустичних коливань найбільше практичне застосування мають так звані поверхневі акустичні хвилі (ПАХ) – пружні хвилі, що поширюються вздовж поверхні твердого тіла або вздовж кордону твердого тіла з іншими середовищами та згасають у разі віддалення від кордону.

Об'ємні акустичні коливання переважно використовують в кварцових резонаторах та інтегральних п'єзокварцових фільтрах.

Для контролю величини зовнішніх дій у перетворювачах на ПАХ застосовуються: часовий, фазовий, частотний та диференційно-частотний методи. На рисунку 1.16 наведено схеми названих методів.

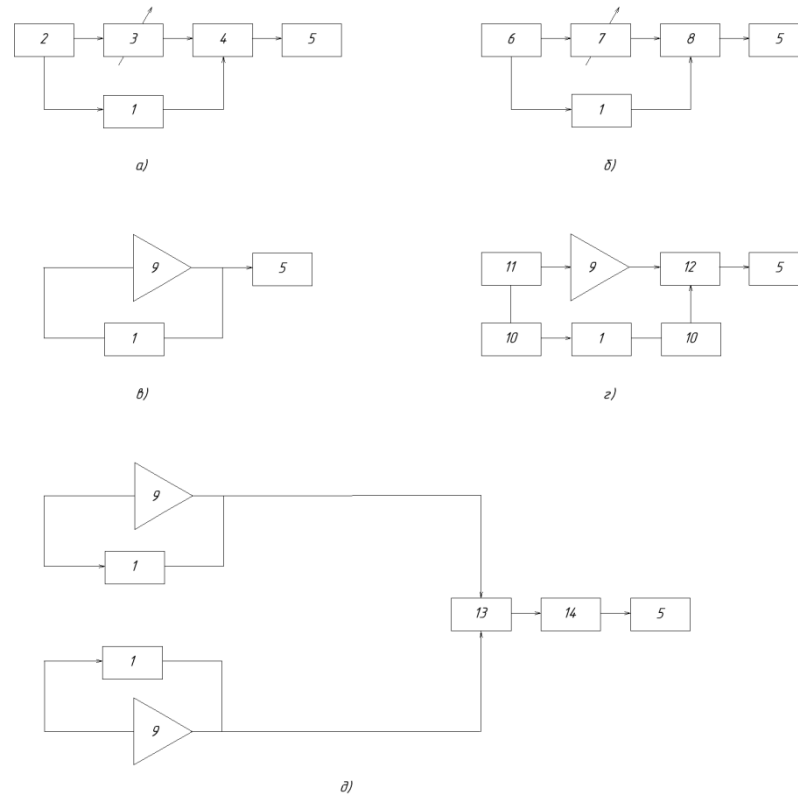


Рисунок 1.16 – Методи контролю величини зовнішніх дій у перетворювачах на ПАХ: а – часовий; б – фазовий; в, г – частотний; д – диференційно-частотний: 1 – ПАХ-структура; 2 – генератор коротких імпульсів; 3 – схема регулювання затримки; 4 – блок вимірювання часових інтервалів; 5 – пристрій реєстрації; 6 – генератор неперервних сигналів; 7 – регульований фазообертач; 8 – фазовий детектор; 9 – підсилювач; 10 – узгоджувальний пристрій; 11 – атенюатор; 12 – пристрій розв’язування; 13 – змішувач; 14 – фільтр нижніх частот [41]

В часовому методі контролю вимірюється змінювання величини затримки поширення імпульсу між вхідним та вихідним перетворювачами під час зовнішніх дій на підкладку

$$\Delta\tau = \tau_0 \left( \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta V}{V} \right), \quad (1.9)$$

де:  $\tau_0$  – час затримки;  $V$  – швидкість поширення ПАХ;  $L$  – геометричні розміри в недеформованому середовищі;  $\Delta L$ ,  $\Delta V$  – величина змінювання

швидкості поширення ПАХ та геометричних розмірів у деформованому середовищі.

У фазовому методі вимірюється зміна величини набігу фази під час поширення ПАХ від вхідного до вихідного перетворювача під час зовнішніх дій на підкладку

$$\Delta\psi = \psi_0 \left( \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta V}{V} \right). \quad (1.10)$$

Частотний метод базується на вимірюванні зміни набігу фази, що перетворюється в частотний вихідний сигнал за допомогою ввімкнення лінії затримки 1 в коло зворотного зв'язку підсилювача 9, тобто створення ПАХ-генератора.

Частота генератора:

$$f = \frac{m - \psi_E / 2\pi}{\tau}, \quad (1.11)$$

де  $m = 1, 2, 3, \dots$  – ціле число;  $\psi_E$  – сумарний фазовий зсув. [32,41,44]

За допомогою диференційно-частотного методу можна підвищити чутливість перетворювача та знизити його температурну нестабільність за допомогою порівняння (віднімання) вихідних сигналів двох ПАХ-генераторів у змішувачі 13 та виділення сигналу різницевої частоти на фільтрі нижніх частот 14.

Сьогодні найбільшого поширення на практиці набув частотний метод контролю величини зовнішніх дій на основі генераторної схеми. Цей метод досить універсальний, має високу чутливість та точність, характеризується високою завадостійкістю, відносно простий у реалізації, зручний для подальшого оброблення сигналу за допомогою цифрових схем.

Розрізняють сенсори на ПАХ таких фізичних величин: сили, тиску, прискорення, температури, концентрації газів, електричної напруги, електрофізичних параметрів, вологості, принцип дії яких описано у [41].

## Висновок до першого розділу дипломного проєкту

У першому розділі дипломного проєкту проведено огляд обладнання акустичних інформаційних систем.

Розглянуто влаштування та принцип дії мікрофона як електроакустичного обладнання інформаційних систем. Проведено огляд обладнання гідроакустичних засобів, як-от однопроменеві ехолоти, багатопроменеві ехолоти, гідролокатори бічного огляду та профілографи морського середовища; а також медичного обладнання акустичних інформаційних систем як для діагностики, зокрема бронхофонографічного дослідження, так і для організації терапевтичних процедур, як-от ультразвукова фізіотерапія.

Наведено огляд галузі застосування акустичних хвиль для неруйнівного контролю властивостей і параметрів об'єкта, для оцінювання якості металевої продукції, виробів з композитного матеріалу тощо. До акустичних приладів неруйнівного контролю відносять акустико-емісійні комплекси, дефектоскопи імпульсні ультразвукові, імпедансні, резонансні, а також ультразвукові товщиноміри та течешукачі (для виявлення місць витоків підземних трубопроводів). Акустична мікроскопія є також одним із найпоширеніших методів неруйнівного контролю. Додатково було розглянуто влаштування та принцип дії інтерферометра акустичного – приладу для акустичних вимірювань, що ґрунтується на явищі інтерференції плоских акустичних хвиль; акустичний сенсор вимірювання температури та акустoeлектронні сенсори фізичних величин.

Також варто звернути увагу на спеціальне обладнання захисту акустичної інформації, детальний опис яких надано у джерелах [20] та [31], а також огляд впливу музичних інструментів як акустичних інформаційних систем на психоемоційний стан людей з погляду музикотерапії в статті [50]. Сьогодні відкриваються нові перспективні напрями розвитку музикотерапії з погляду на вібраційно-резонансний феномен. [10,23,50]

Метою роботи є дослідження та розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно виконати наступні завдання:

- 1) провести аналіз існуючих акустичних систем високої спектральної чутливості;
- 2) провести дослідження структурної схеми обраної системи;
- 3) провести моделювання електричних схем окремих блоків мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості;
- 5) провести техніко-економічні дослідження системи та розробити заходи з охорони праці та техногенної безпеки робіт, що планується виконати.

## 2 Розробка мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

### 2.1 Структурна схема сучасних акустичних інформаційних систем

Функціонування більшої частини сучасних акустичних інформаційних систем корегування освітлення або захисту житлового приміщення можна описати за допомогою структурної схеми, що наведена на рисунку 2.1.

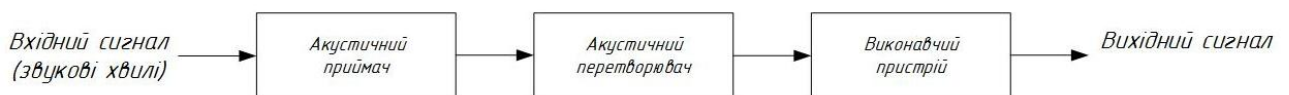


Рисунок 2.1 – Структурна схема функціонування акустичних інформаційних систем корегування освітлення та захисту житлового приміщення

Відповідно до рисунку 2.1 вхідним сигналом таких систем є звукові (пружні) хвилі певного частотного діапазону, що потрапляють до акустичного приймача. Акустичний перетворювач є приладом для перетворення акустичних коливань в електричний сигнал, що насамперед здійснює керування виконавчим пристроєм та призводить до утворення відповідного вихідного сигналу.

Структурна схема розроблюваної мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості зображена на рисунку 2.2.

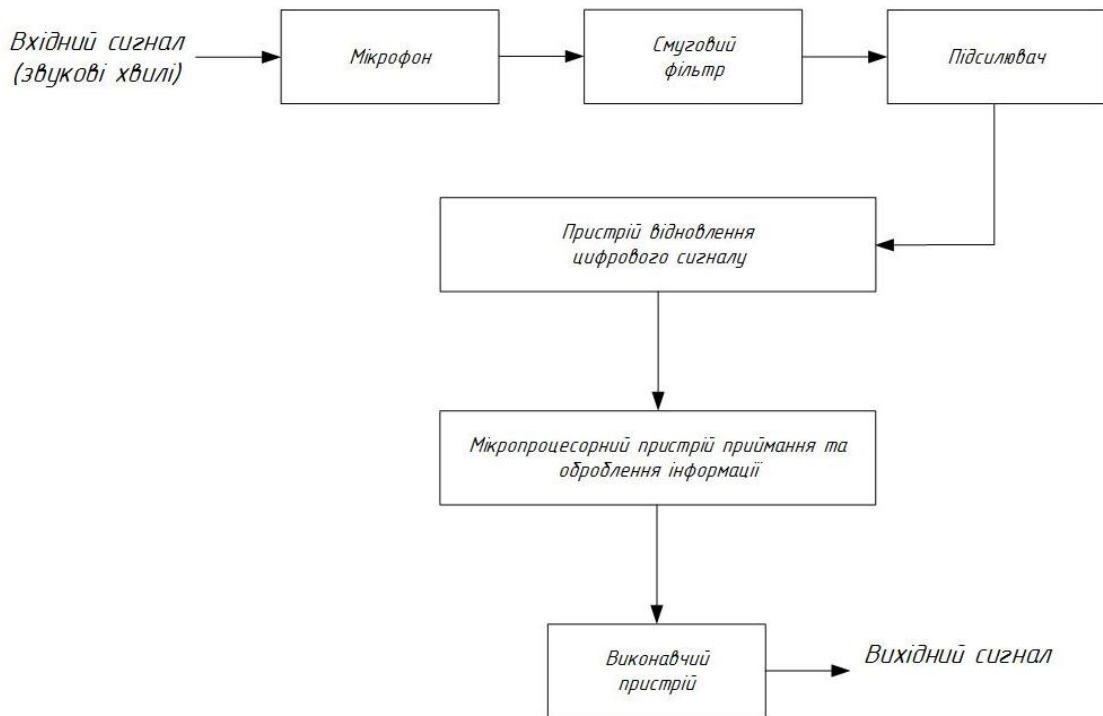


Рисунок 2.2 – Структурна схема мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

На рисунку 2.2 звукові коливання як вхідні сигнали потрапляють до мікрофона та зазнають перетворення в електричні сигнали. Смуговий фільтр відповідно до попередньо заданого частотного спектра (діапазону) пропускання проводить сигнали на вхід підсилювача, який здійснює збільшення їхньої потужності за допомогою допоміжного джерела живлення. Пристрій відновлення цифрового сигналу призначений для перетворення вхідних аналогових електричних сигналів в цифрові сигнали, що згодом потрапляють до мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації, який насамперед здійснює керування виконавчим пристроєм. Виконавчий пристрій формує відповідний вихідний сигнал.

У наступних підрозділах проведено розрахування та моделювання таких складових частин:

- акустичного приймача, що являє собою пристрій перетворення звукових коливань в цифровий сигнал та призначений для контролювання звукового стану приміщення;
- мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації;

– комутування електричних кіл виконавчих пристроїв.

## 2.2 Акустичний приймач

Вихідну схему акустичного приймача зображено на рисунку 2.3.

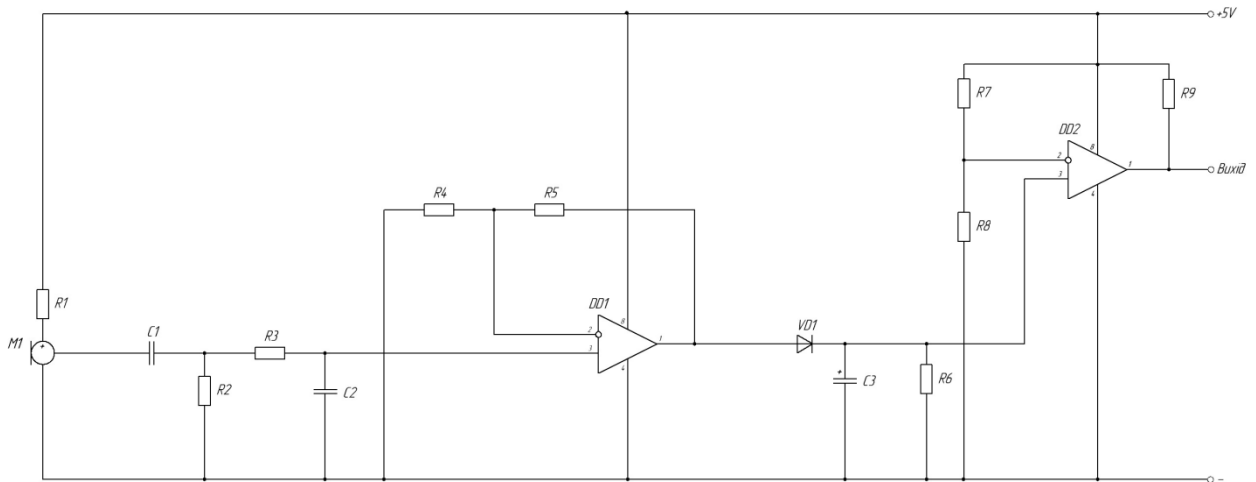


Рисунок 2.3 – Вихідна схема акустичного приймача

В разі виникнення звукових коливань в приміщенні (або поблизу охоронюваного об'єкта) мікрофон М1 здійснює їх перетворення в електричний сигнал змінного струму.

Електричний сигнал, проходячи через пасивний смуговий RC-фільтр, що являє собою фільтр верхніх частот (резистор R2 і конденсатор C1) та фільтр нижніх частот (резистор R3 і конденсатор C2), зазнає підсилення за допомогою операційного підсилювача DD1. Підсилений сигнал, проходячи через випрямний пристрій, що складається з діода VD1, конденсатора C3 та резистора R6, потрапляє до компаратора напруги DD2, внаслідок чого на виході акустичного приймача формується сигнал високого рівня (цифровий сигнал).



### 2.2.1 Мікрофон

Для побудування схеми акустичного приймача застосуємо електретний мікрофон типу «МКЭ-3» з трьома виводами (рисунок 2.4).

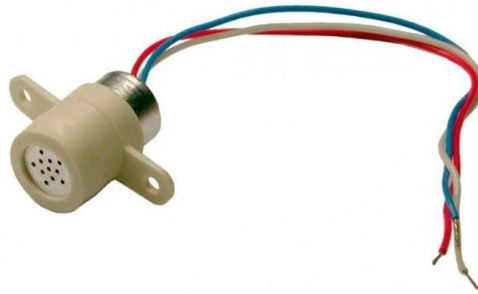


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд електретного мікрофона [56]

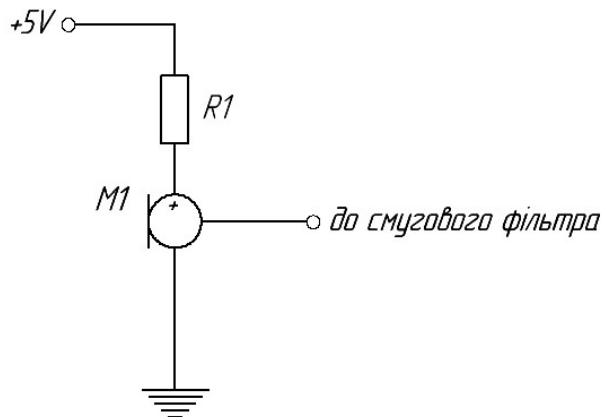


Рисунок 2.5 – Підключення електретного мікрофона до джерела живлення

Електретний мікрофон типу «МКЭ-3» призначений для застосування в різноманітних акустичних приладах, сучасних мініатюрних приладах аудіотехніки тощо.

Мікрофон розташований у спеціальному тримачі, що має отвори з обох боків для зручного та швидкого влаштування (рисунок 2.4).

Таблиця 2.1 – Технічні параметри електретного мікрофона [56]

Напруга живлення, В	4,5±0,5
Струм споживання, мА	4–20
Вихідний опір, кОм	≈ 2,2
Шум, дБА	30
Діапазон частот, Гц	50...15000
Чутливість, мВ/Па	4–20
Робочий діапазон температур, °С	від –10 до +45
Габаритні розміри, мм	13×21
Напрацювання до відмови, годин	12500

За напруги живлення 4,5±0,5 В струм споживання мікрофона становить від 4 мА до 20 мА. Відповідно до закону Ома розрахуємо значення опору струмообмежувального резистора (R1) для мікрофона:

$$R1 = \frac{E_{\text{жив.}}}{I_{\text{спож.}}}, \quad (2.1)$$

де R1 – опір струмообмежувального резистора, Ом; E<sub>жив.</sub> – напруга джерела живлення, В; I<sub>спож.</sub> – струм споживання, мА.

Відповідно до формули (2.1):

$$R1 = \frac{4,5 \pm 0,5 \text{ В}}{4 \div 20 \text{ мА}} \approx \frac{5 \text{ В}}{5 \text{ мА}} = 1000 \text{ Ом} = 1 \text{ кОм.}$$

Водночас потужність, яку розсіюватиме резистор R1, становитиме:

$$P_{R1} = E_{\text{жив.}} \cdot I_{\text{спож.}} = 5 \text{ В} \cdot 5 \text{ мА} = 0,025 \text{ Вт.}$$

## 2.2.2 Пасивний смуговий RC-фільтр

Смуговий фільтр – це електронний пристрій, призначений для відокремлення та пропускання до свого виходу електричний коливань, що

перебувають у певному діапазоні частот, водночас послаблюючи інші електричні коливання, що потрапляють до його входу та не перебувають у цьому діапазоні частот.

До переваг пасивних RC-фільтрів відносять простоту конструкції, низьку вартість, нечутливість до магнітних полів та можливість будовання малогабаритних схем для найнижчих частот за допомогою збільшення номіналів резисторів.

До недоліків можна віднести великі втрати енергії у резисторах. Саме з цього погляду селективність RC-фільтрів гірша, ніж LC-фільтрів.

Пасивний смуговий фільтр зображений на рисунку 2.6 та складається з фільтра верхніх частот (ФВЧ), що побудований за допомогою резистора R1 і конденсатора C1, та фільтра нижніх частот (ФНЧ), що побудований за допомогою резистора R2 і конденсатора C2.

Фільтр верхніх частот здійснює пропускання електричних коливань електретного мікрофона вище деякої граничної частоти  $f_1$ :

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot C1} \quad (2.2)$$

Фільтр нижніх частот здійснює пропускання електричних коливань електретного мікрофона не вище деякої граничної частоти  $f_2$ :

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R2 \cdot C2} \quad (2.3)$$

Граничні частоти  $f_1$  і  $f_2$  є частотами зрізання, на яких коефіцієнт передавання напруги RC-фільтра зменшується у  $\sqrt{2}$  рази (–3 дБ), порівнюючи з максимальним значенням.

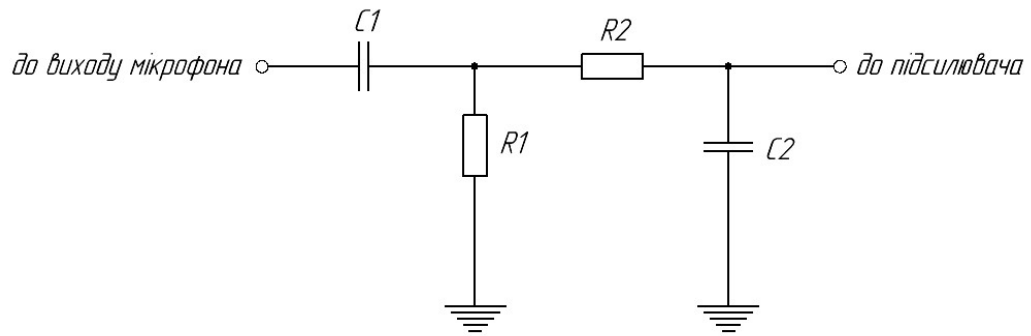


Рисунок 2.6 – Пасивний смуговий RC-фільтр

Відповідно до таблиці характеристик електретного мікрофона граничні частоти  $f_1$  і  $f_2$  становлять 50 Гц та 15000 Гц.

Геометричне середнє частот  $f_1$  і  $f_2$  називають середньою центральною частотою та визначають за допомогою формули:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \quad (2.4)$$

Добротність фільтра  $Q$  пов'язує середню частоту смуги пропускання і її ширину на рівні 3 дБ та визначається за допомогою формули:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{\sqrt{f_1 \cdot f_2}}{f_2 - f_1}. \quad (2.5)$$

Відповідно до формул (2.4) та (2.5):

$$f_0 = \sqrt{50 \text{ Гц} \cdot 15000 \text{ Гц}} \approx 866,025 \text{ Гц};$$

$$Q = \frac{866,025 \text{ Гц}}{15000 \text{ Гц} - 50 \text{ Гц}} = 0,05792809.$$

Зважаючи на вихідний опір мікрофона, що становить  $\approx 2,2$  кОм, значення опору резистора  $R1$  становитиме 22 кОм. Водночас для уникнення спотворень передавальної функції RC-фільтра опір резистора  $R2$  становитиме:

$$R2 \geq 10 \cdot R1 = 10 \cdot 22 \text{ кОм} = 220 \text{ кОм}.$$

За такої умови ємності конденсаторів  $C1$  та  $C2$  становитимуть:

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot f_1};$$

$$C1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 22 \text{ кОм} \cdot 50 \text{ Гц}} = 0,14476 \text{ мкФ} = 144,76 \text{ нФ} \approx 150 \text{ нФ};$$

$$C2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R2 \cdot f_2};$$

$$C2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 220 \text{ кОм} \cdot 15000 \text{ Гц}} = 48,2532 \text{ пкФ} \approx 47 \text{ пкФ}.$$

Основними характеристиками пасивних смугових RC-фільтрів є їхня амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) та фазо-частотна характеристика (ФЧХ).

Для дослідження амплітудно-частотної характеристики та фазо-частотної характеристики розрахованого RC-фільтра проведемо його моделювання в середовищі проектування та аналізування електричних схем Electronics Workbench 5.12. [62]

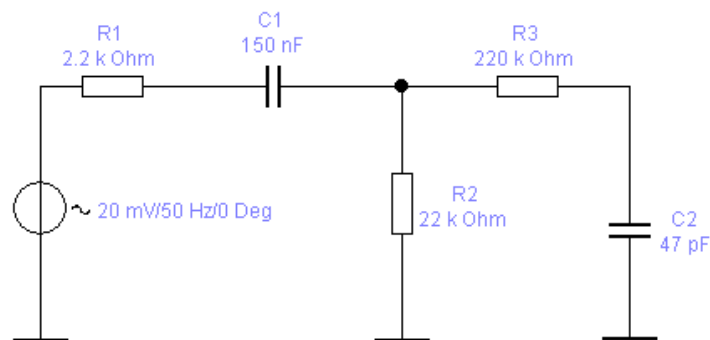


Рисунок 2.7 – Моделювання пасивного смугового RC-фільтра з резистором R1 як вихідний опір електретного мікрофона в середовищі Electronics Workbench 5.12

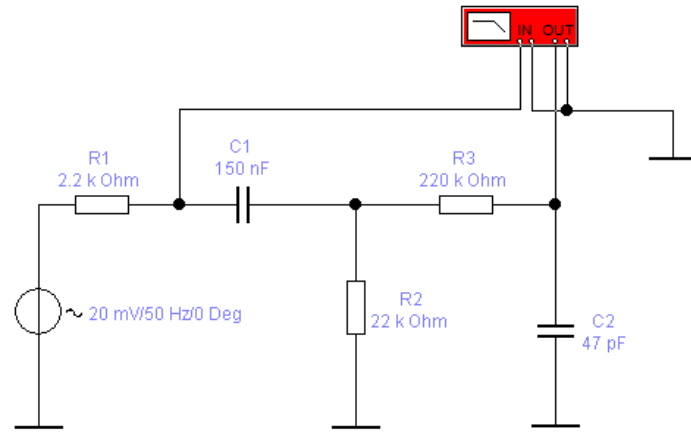


Рисунок 2.8 – Дослідження амплітудно-частотної характеристики пасивного смугового RC-фільтра в середовищі Electronics Workbench 5.12

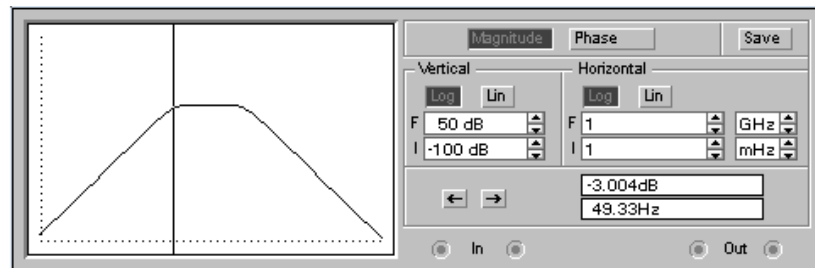


Рисунок 2.9 – Дослідження нижньої граничної частоти зрізання  $f_1$

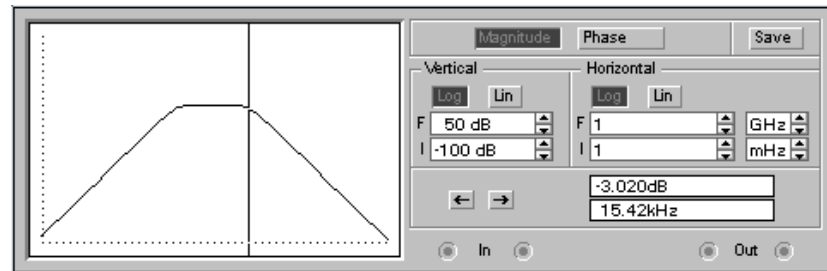


Рисунок 2.10 – Дослідження верхньої граничної частоти зрізання  $f_2$

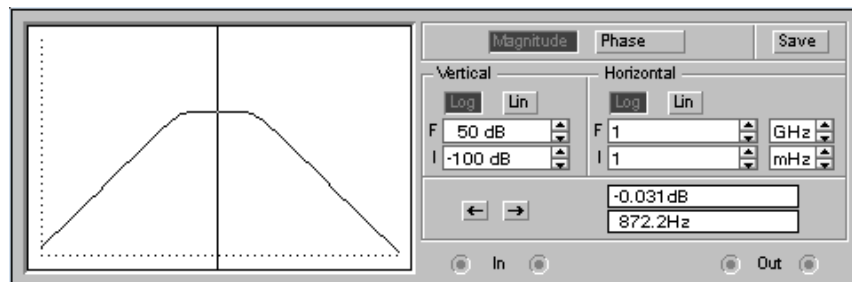


Рисунок 2.11 – Дослідження середньої центральної частоти  $f_0$

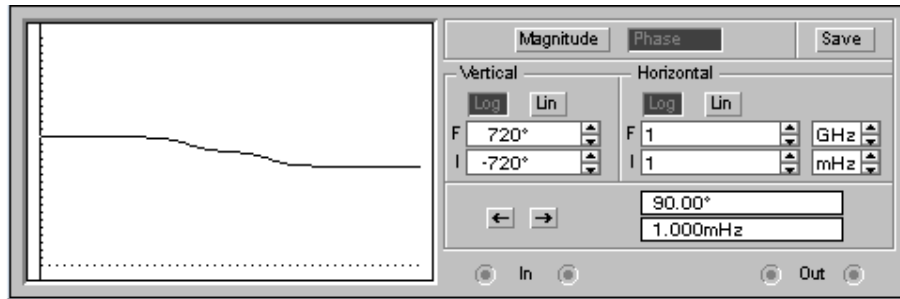


Рисунок 2.12 – Дослідження фазо-частотної характеристики

### 2.2.3 Підсилювач

Для підсилення вихідного сигналу з електретного мікрофона, амплітуда якого становить приблизно  $10 \div 20$  мВ, застосуємо операційний підсилювач на мікросхемі LM358P (LM358).

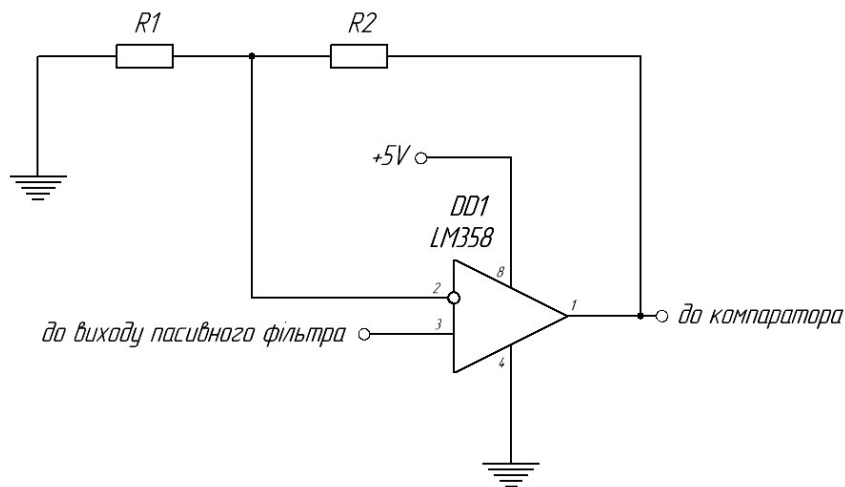


Рисунок 2.13 – Неінвертувальний підсилювач на мікросхемі LM358

Вхідний опір такого підсилювача становить близько  $10^8$  Ом. Вихідний опір становить декілька Ом.

Водночас коефіцієнт підсилення за напругою  $K$  визначають за допомогою формули:

$$K = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = 1 + \frac{R2}{R1}, \quad (2.6)$$

де  $R2$  – опір резистора  $R2$ , Ом;  $R1$  – опір резистора  $R1$ , Ом.

Відповідно до технічної документації мікросхеми LM358P максимальна вихідна напруга операційного підсилювача за напруги живлення  $V_{CC}$  (+5 В) становитиме  $U_{\text{вих.}} = V_{CC} - 1,5 \text{ В}$ :

$$U_{\text{вих.}} = 5 \text{ В} - 1,5 \text{ В} = 3,5 \text{ В}.$$

З огляду на вихідний сигнал з електретного мікрофона коефіцієнт підсилення становитиме:

$$K = \frac{U_{\text{вих.}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{3,5 \text{ В}}{\approx 10 \text{ мВ}} = 350.$$

Якщо опір резистора  $R1$  становитиме, наприклад, 1 кОм, тоді відповідно до формули (2.7):

$$\frac{R2}{R1} = K - 1;$$

$$R2 = (K - 1) \cdot R1;$$

$$R2 = K \cdot R1 - 1 \cdot R1;$$

$$R2 = K \cdot R1 - R1;$$

$$R2 = 350 \cdot 1 \text{ кОм} - 1 \text{ кОм} = 349 \text{ кОм} \approx 360 \text{ кОм}.$$

Моделювання підсилювача та дослідження осцилограми вихідного сигналу мікросхеми LM358P (LM358) проведено за умови однополярного джерела живлення +5 В.

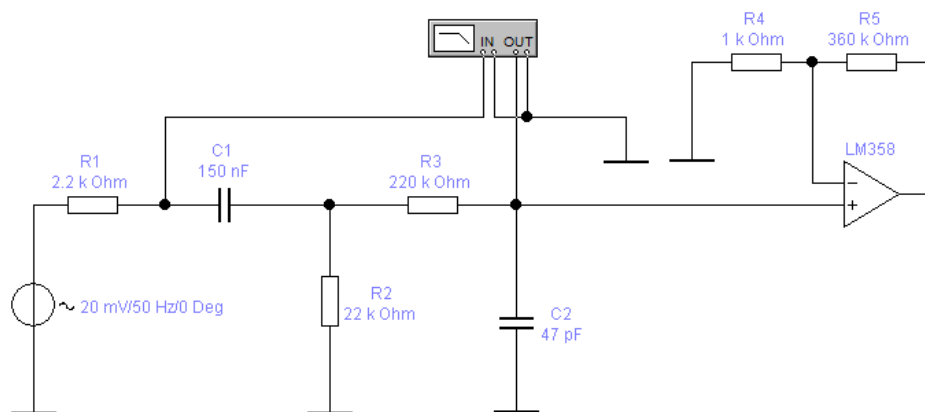


Рисунок 2.14 – Моделювання підсилювача вихідного сигналу з електретного мікрофона за допомогою мікросхеми LM358P (LM358) за однополярної напруги живлення +5 В



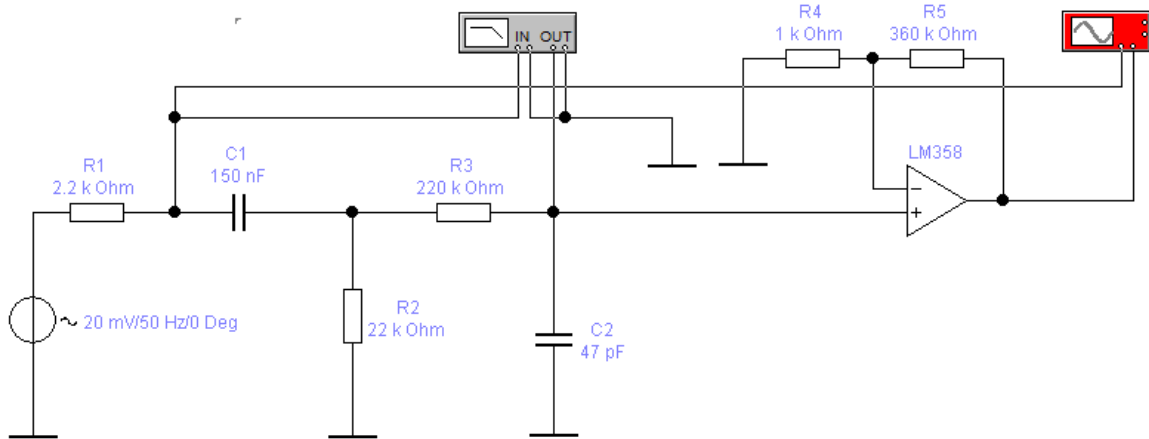


Рисунок 2.15 – Дослідження осцилограми вихідного сигналу операційного підсилювача LM358P (LM358)

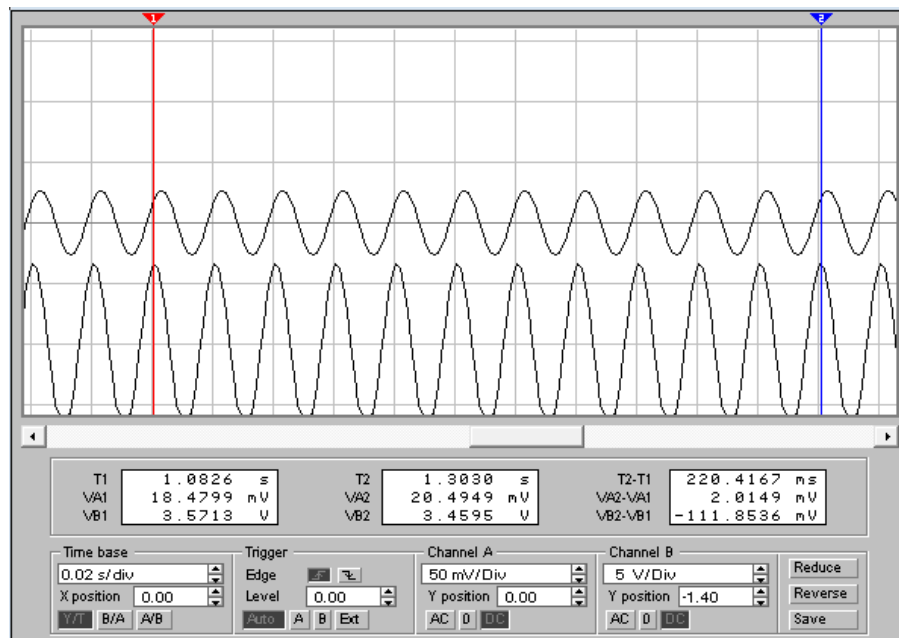


Рисунок 2.16 – Осцилограма вихідного сигналу операційного підсилювача LM358P

## 2.2.4 Пристрій відновлення цифрового сигналу

Для перетворення аналогового підсиленого сигналу з електретного мікрофона в цифровий сигнал логічної амплітуди застосуємо компаратор на мікросхемі LM393P (LM393).

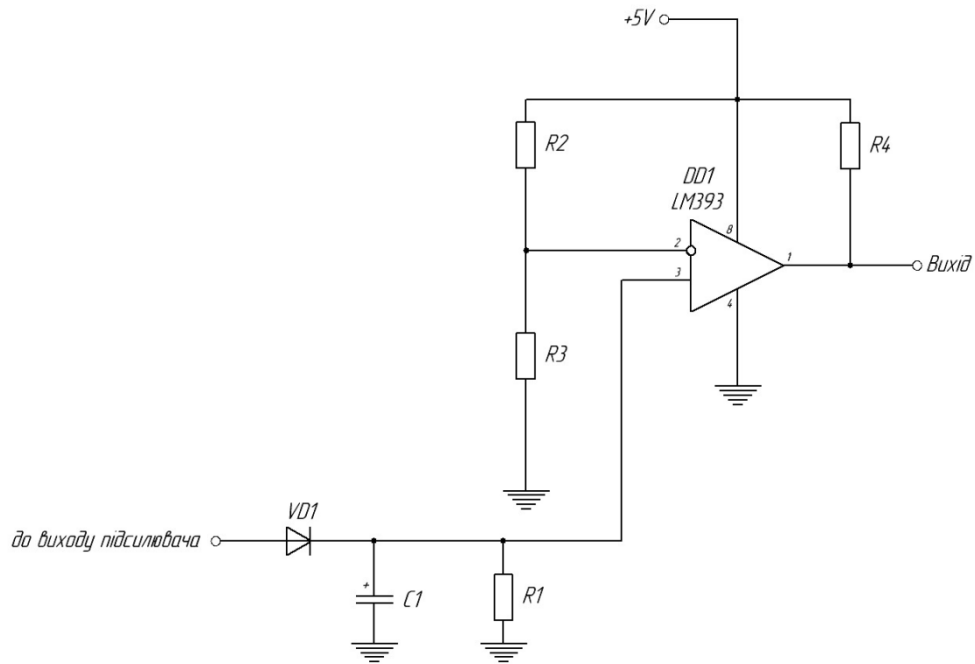


Рисунок 2.17 – Компаратор напруги на мікросхемі LM393P

Послідовно увімкнені резистори R2 і R3 утворюють подільник напруги джерела живлення, вихід якого подається на інвертувальний вхід компаратора. Напругу на виході подільника називають опорною ( $U_{оп}$ ) (або попередньо визначеною), що є незмінною в часі.

Вихідна напруга подільника визначається за допомогою формули:

$$U_{оп} = U_{жив.} \cdot \frac{R3}{R2 + R3}, \quad (2.7)$$

де  $U_{оп}$  – значення напруги на виході подільника (опорної напруги), В;  $U_{жив.}$  – значення напруги джерела живлення, В; R2 – опір резистора R2, Ом; R3 – опір резистора R3, Ом.

Сигнал з виходу підсилювача ( $U_{вх}$ ) проходить через випрямний пристрій, реалізований за допомогою діода VD1 (1N4148), полярного конденсатора C1 ( $\approx 2,2$  мкФ) та резистора R1 (1 МОм), та потрапляє до неінвертувального входу.

За умови  $U_{вх} > U_{оп}$  відповідно до технічної документації мікросхема LM393P формувати є сигнал високого рівня («логічної одиниці»), напруга якого становить +3,5 В за напруги живлення +5 В; за умови  $U_{вх} < U_{оп}$  – сигнал низького рівня («логічного нуля»), напруга якого становить +150 мВ.

Застосування резистора R4 (10 кОм) зумовлене наявністю виходу мікросхеми-компаратора з відкритим колектором.

Якщо опір резистора R2 становитиме 10 кОм, а опір резистора R3 – 22 кОм, то опорна напруга становитиме:

$$U_{\text{оп}} = 5 \text{ В} \cdot \frac{22 \text{ кОм}}{10 \text{ кОм} + 22 \text{ кОм}} = 1,56 \text{ В}.$$

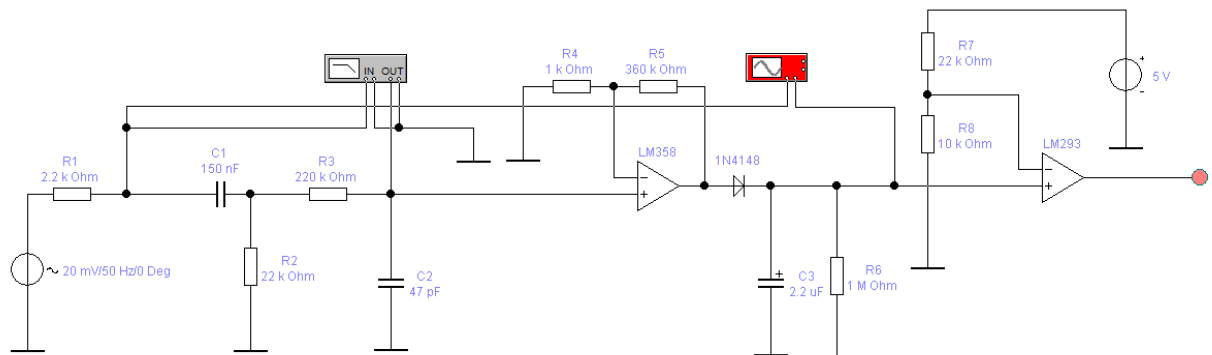


Рисунок 2.18 – Дослідження функціонування компаратора напруги LM293 (аналог LM393P) в середовищі Electronics Workbench 5.12

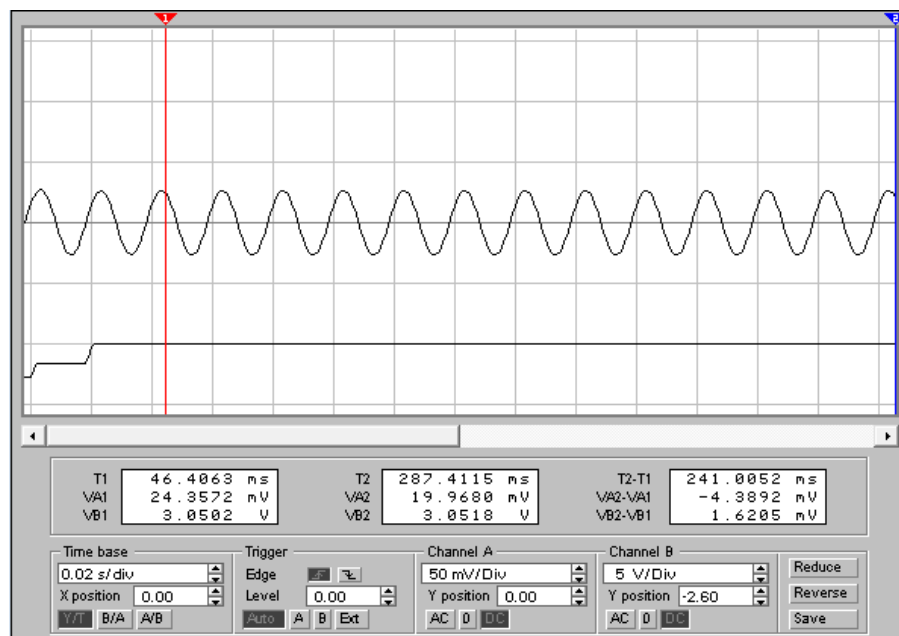


Рисунок 2.19 – Осцилограма вихідного сигналу після проходження через випрямний пристрій

Сигнал логічної амплітуди на виході компаратора потрапляє до мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації, структурна схема та розрахування якого наведено в підрозділі 2.3.

Розраховану схему акустичного приймача зображено на рисунку 2.20.

Зазначимо, що для підвищення коефіцієнта підсилення за напругою опір резистора R5 можна збільшити до 1МОм.

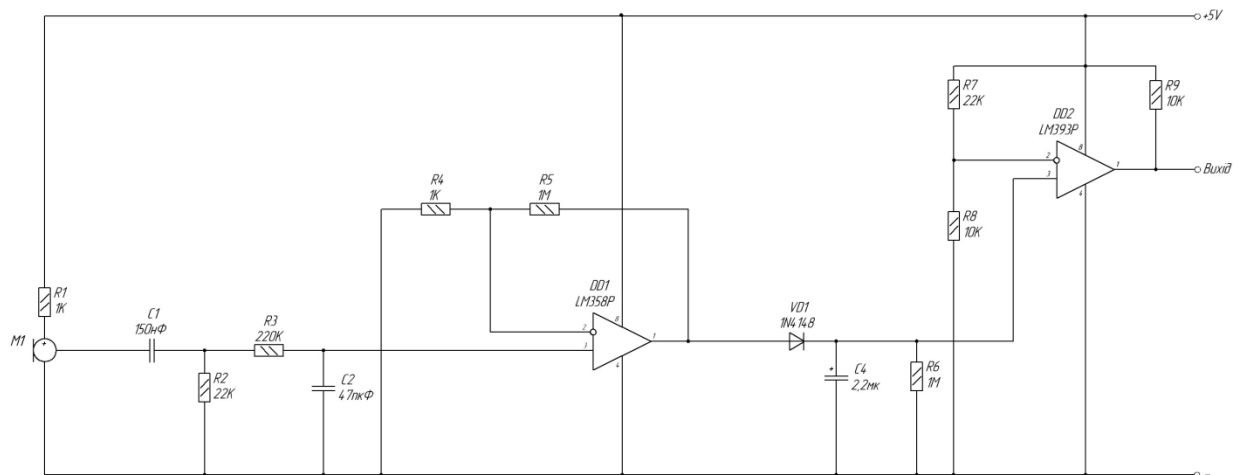


Рисунок 2.20 – Схема електрична принципова акустичного приймача

### 2.3 Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації

Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації являє собою цифрову систему, що складається з центральної частини, яка здійснює приймання та оброблення цифрового електричного сигналу від компаратора LM393P; а також додаткового засобу введення цифрової інформації для формування сигналів керування виконавчими пристроями.

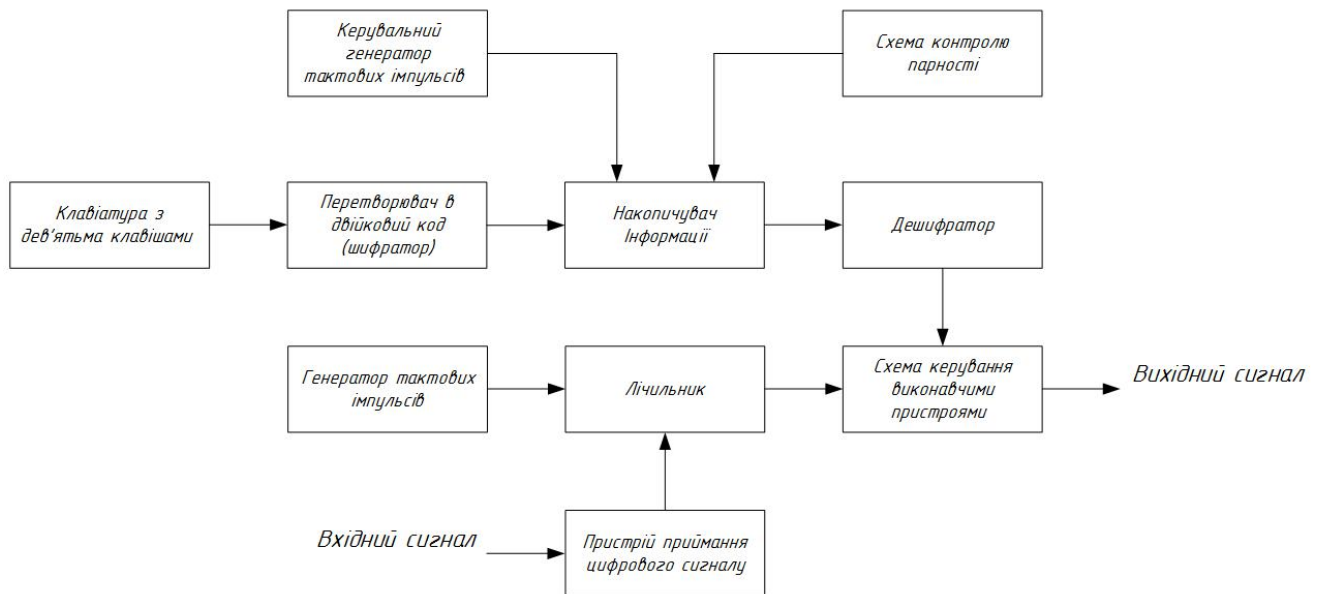


Рисунок 2.21 – Структурна схема мікропроцесорного пристрою приймавання та оброблення інформації

Відповідно до структурної схеми на рисунку 2.21 керування дев'ятьма виконавчими пристроями здійснюється за допомогою центральної частини мікропроцесорного пристрою, що складається з клавіатури з дев'ятьма контактними перемикачами; шифратора як комбінаційного пристрою перетворення коду числа перемикачів в двійковий код; накопичувача інформації та дешифратора утворення керувального сигналу для виконавчих пристроїв; а також (двійкового) лічильника підрахування числа імпульсів, що надходять на його вхід за допомогою генератора тактових імпульсів.

У мікропроцесорному пристрої електричні сигнали приймають лише два значення – активний або високого рівня («логічна одиниця») та пасивний або низького рівня («логічний нуль»).

Оброблення інформації, що міститься в таких сигналах, зводять до логічних операцій, застосовуючи математичний апарат алгебри логіки. Основними функціями алгебри логіки є операція І (кон'юнкція або логічне множення), АБО (диз'юнкція або логічне додавання), НІ (інверсія або логічне заперечення).

Технічні пристрої, що здійснюють реалізування таких логічних функцій, називаються логічними елементами (рисунок 2.22).

№	Логічна функція	Умове позначення	Таблиця істинності			Логічний вираз
			Входи		Вихід	
			X1	X2		
1.	І (множення)		0	0	0	$Y = X1 \wedge X2;$ $Y = X1 \cdot X2$
			0	1	0	
			1	0	0	
			1	1	1	
2.	АБО (додавання)		0	0	0	$Y = X1 \vee X2;$ $Y = X1 + X2$
			0	1	1	
			1	0	1	
			1	1	1	
3.	НІ (заперечення)		0		1	$Y = \overline{X1}$
			1		0	
4.	І-НІ		0	0	1	$Y = \overline{X1 \wedge X2};$ $Y = \overline{X1 \cdot X2}$
			0	1	1	
			1	0	1	
			1	1	0	
5.	АБО-НІ		0	0	1	$Y = \overline{X1 \vee X2};$ $Y = \overline{X1 + X2}$
			0	1	0	
			1	0	0	
			1	1	0	
6.	Виключне АБО		0	0	1	$Y = X1 \oplus X2;$ $Y = X1 \cdot \overline{X2} + \overline{X1} \cdot X2$
			0	1	0	
			1	0	0	
			1	1	1	
7.	Виключне АБО-НІ		0	0	1	$Y = \overline{X1 \oplus X2};$ $Y = X1 \cdot X2 + \overline{X1} \cdot \overline{X2}$
			0	1	0	
			1	0	0	
			1	1	1	

Рисунок 2.22 – Логічні елементи [54,55]

На виході логічного елемента І встановлюється високий рівень напруги («логічна одиниця») лише за умови одночасного подавання сигналів високого рівня на всі його входи.

На виході логічного елемента АБО високий рівень напруги з'являється лише за умови сигналу високого рівня хоча б на одному з його входів.

На виході логічного елемента НІ встановлюється низький рівень сигналу в разі подавання сигналу високого рівня на вхід; за наявності сигналу низького рівня – вихідний сигнал матиме високий рівень.

Зазначимо, що всі логічні елементи можна побудувати для будь-якого числа змінних. [54,62]

### 2.3.1 Засіб введення цифрової інформації

Клавіатура введення цифрової інформації, що складається з дев'яти клавіш являє, собою контактний пристрій введення цифрової інформації (кнопкові перемикачі).

Натиснення будь-якої клавіші призводить до замикання електричного ланцюгу, що спричинюватиме утворення відповідного керувального сигналу для виконавчих пристроїв.

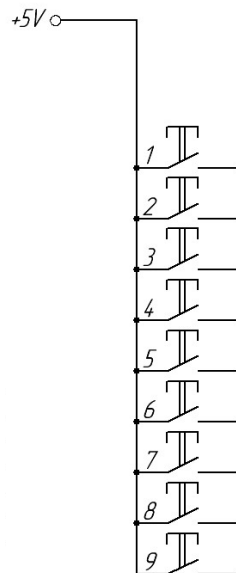


Рисунок 2.23 – Умовне зображення контактного пристрою як засобу введення цифрової інформації

### 2.3.2 Двійковий шифратор

Двійковий шифратор являє собою комбінаційний пристрій, що здійснює перетворення десяткового числа контактної пристрою у вихідні логічні сигнали, що відповідають певному двійковому коду.

Для побудовання шифратора складемо таблицю його функціонування.

Таблиця 2.2 – Таблиця функціонування двійкового неповного шифратора

Вхідний код клавіші	Вихідний код			
	Y4	Y3	Y2	Y1
X				
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Користуючись таблицею 2.2, запишемо рівняння функціонування:

$$Y4 = X8 + X9;$$

$$Y3 = X4 + X5 + X6 + X7;$$

$$Y2 = X2 + X3 + X6 + X7;$$

$$Y1 = X1 + X3 + X5 + X7 + X9.$$

За допомогою логічних елементів АБО побудуємо схему шифратора.



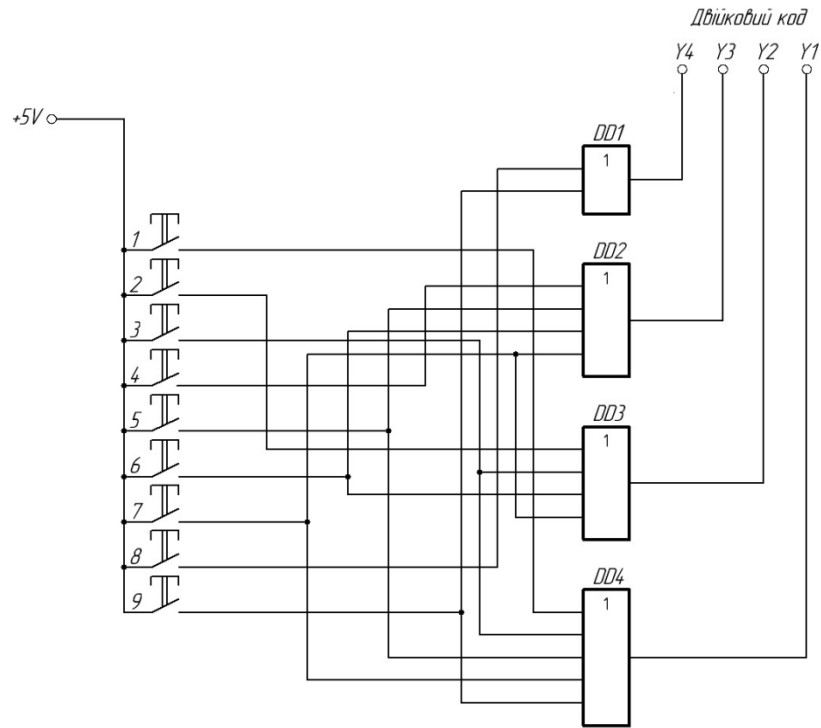


Рисунок 2.24 – Логічна схема шифратора як перетворювача десятичного коду числа контактних перемикачів у двійковий код

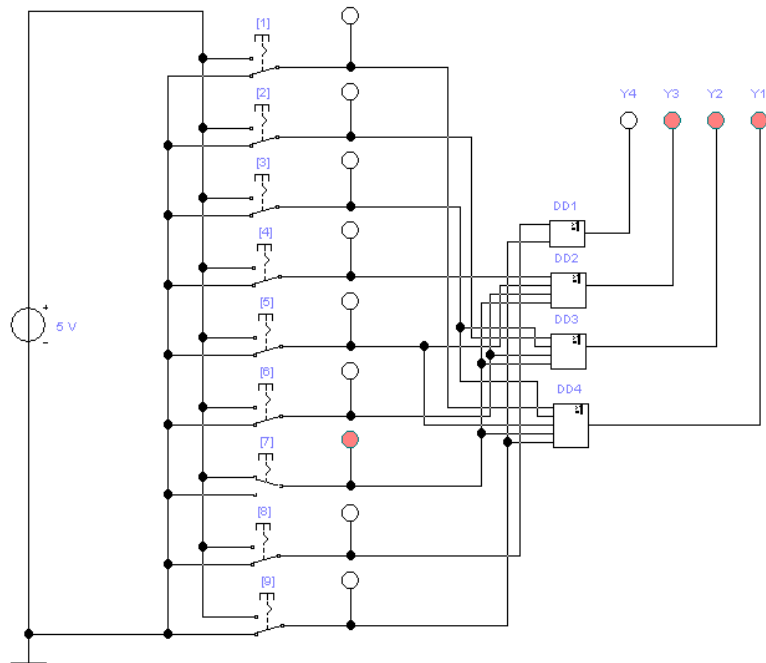


Рисунок 2.25 – Логічна схема двійкового шифратора в середовищі Electronics Workbench 5.12

Приведемо діаграму функціонування схеми шифратора.

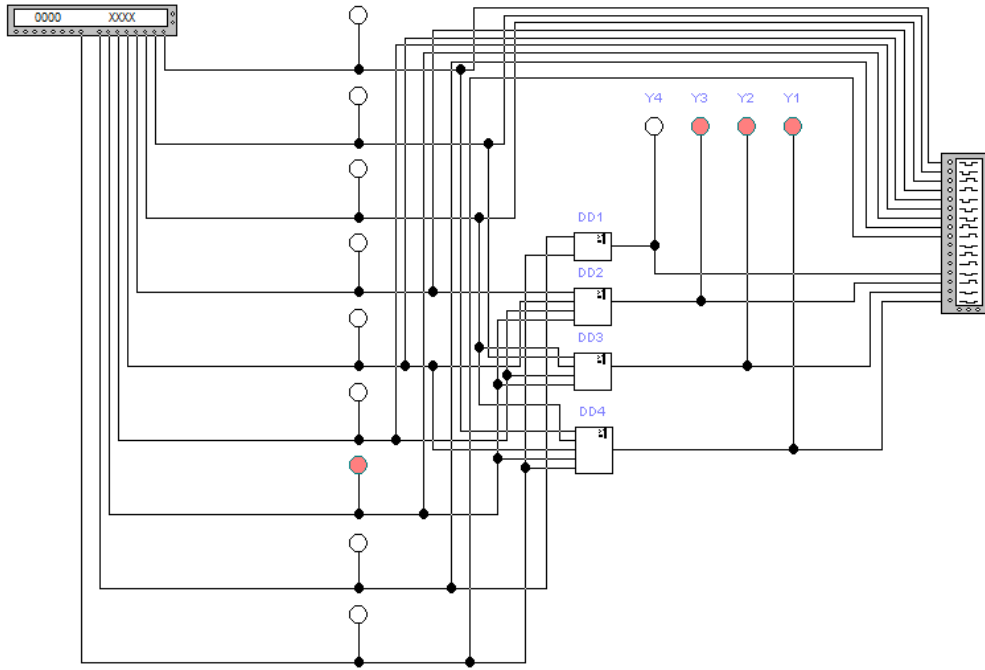


Рисунок 2.26 – Дослідження функціонування шифратора за допомогою генератора логічних слів (рівнів) та логічного аналізатора в середовищі Electronics Workbench 5.12

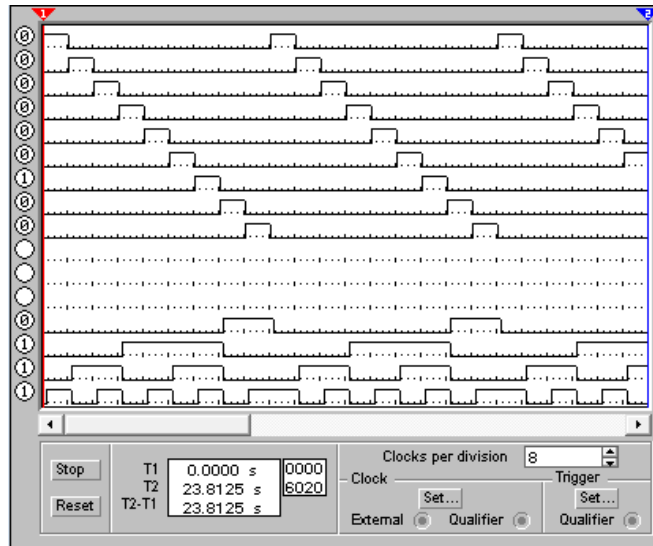


Рисунок 2.27 – Діаграма функціонування двійкового шифратора

### 2.3.3 Накопичувач інформації

Накопичувач інформації призначений для тривалого зберігання керувальних сигналів для двох виконавчих пристроїв.

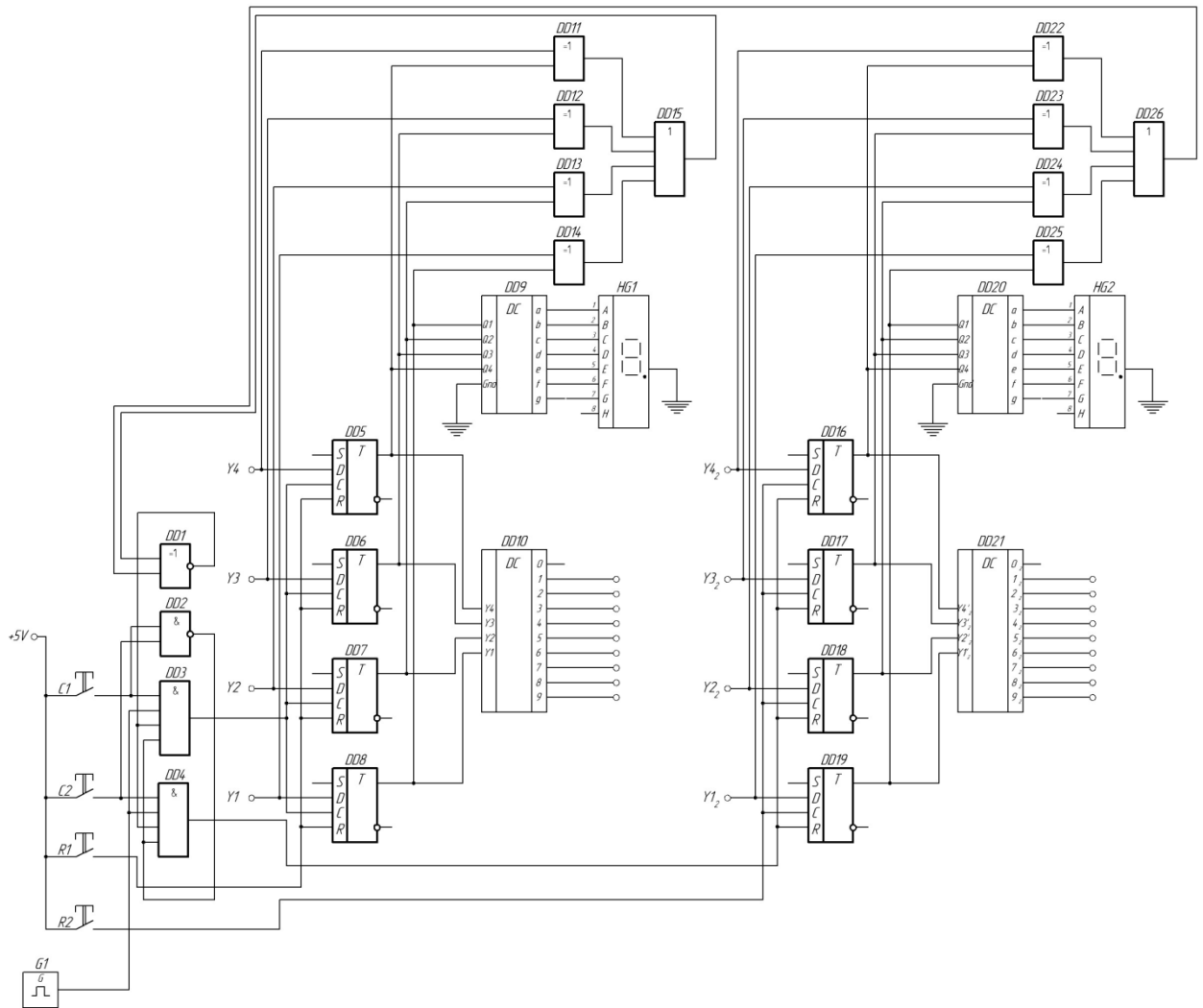


Рисунок 2.28 – Логічна схема паралельного регістра пам'яті, побудованого на тактованих D-тригерах як накопичувача інформації для тривалого зберігання керувального сигналу в двійковому коді для двох виконавчих пристроїв

Для зберігання кожного двійкового розряду на виході шифратора використовується одна комірка, що являє собою тактований D-тригер –

електронний пристрій з двома стійкими станами та одним інформаційним виходом D.

Записування інформації в паралельні регістри пам'яті здійснюється паралельним кодом, тобто у всі розряди регістра одночасно.

Під час подавання керувального сигналу за допомогою контактної пристрою С1 логічний елемент DD3 пропускає тактові імпульси з генератора G1 на входи синхронізації С тригерів DD5–DD8. Активний фронт імпульсу призводить до записування двійкового коду на виході шифратора та перенесення його на вихід тригерів DD5–DD8. Після спадання імпульсу тригери DD5–DD8 набувають режиму зберігання цього коду.

За відсутності активного фронту імпульсу інформація на виходах тригерів DD5–DD8 залишається незмінною.

Таким способом здійснюється записування двійкового коду на виході шифратора для тригерів DD16–DD19 за допомогою контактної пристрою С2 та логічного елемента DD4.

Інтегральні мікросхеми DD9 і DD20 є перетворювачами двійкового коду на виходах D-тригерів у код керування семисегментними світлодіодними індикаторами для позначення номеру виконавчих пристроїв.

Контактні перемикачі R1 та R2 призначені для примусового скидання інформації на виходах регістра пам'яті.

Логічні елементи DD11–DD15 і DD22–DD26 разом з логічними елементами DD1 і DD2 утворюють схему запобігання одночасного записування однакового коду на виході шифратора в D-тригери DD5–DD8 та D-тригери DD16–DD19.

Дешифратори DD10 і DD21 є пристроями комбінаційного типу, що перетворюють двійкові коди на виходах D-тригерів, що надходять на їхні входи, в одиничні сигнали на одному з їхніх виходів.

Таблиця 2.3 – Таблиця станів дешифраторів DD10 і DD21

Входи				Виходи									
Y4	Y3	Y2	Y1	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Відповідно до таблиці станів запишемо рівняння функціонування дешифраторів DD10–DD21:

$$F0 = \overline{Y4} \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{Y2} \cdot \overline{Y1};$$

$$F1 = \overline{Y4} \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{Y2} \cdot Y1;$$

$$F2 = \overline{Y4} \cdot \overline{Y3} \cdot Y2 \cdot \overline{Y1};$$

$$F3 = \overline{Y4} \cdot \overline{Y3} \cdot Y2 \cdot Y1;$$

$$F4 = \overline{Y4} \cdot Y3 \cdot \overline{Y2} \cdot \overline{Y1};$$

$$F5 = \overline{Y4} \cdot Y3 \cdot \overline{Y2} \cdot Y1;$$

$$F6 = \overline{Y4} \cdot Y3 \cdot Y2 \cdot \overline{Y1};$$

$$F7 = \overline{Y4} \cdot Y3 \cdot Y2 \cdot Y1;$$

$$F8 = Y4 \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{Y2} \cdot \overline{Y1};$$

$$F9 = Y4 \cdot \overline{Y3} \cdot \overline{Y2} \cdot Y1.$$

### 2.3.4 Пристрій (схема) приймання цифрового сигналу

Логічний схема приймання цифрового сигналу з акустичного приймача зображена на рисунку 2.29.

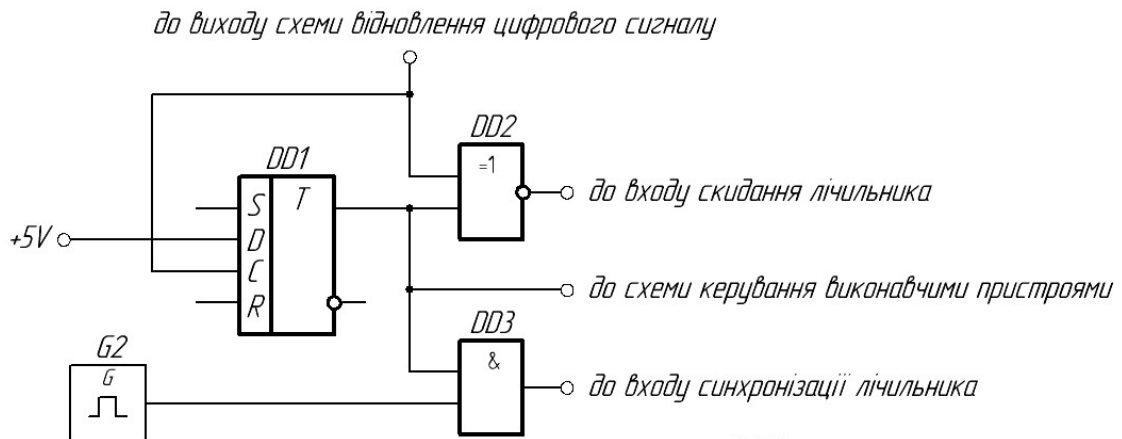


Рисунок 2.29 – Логічна схема приймання цифрового сигналу

Схема приймання цифрового сигналу складається з D-тригера DD1, на інформаційний вхід якого поданий сигнал високого рівня; логічного елемента DD2, який реалізує операцію виключної диз'юнкції з інверсією результату; та логічного елемента DD3, що реалізує операцію кон'юнкції (або логічного множення).

У початковий момент часу на виходах DD2 та DD3 присутній сигнал «логічного нуля». Виникнення на виході компаратора LM393P сигналу «логічної одиниці» призводить до передавання сигналу високого рівня на вході D-тригера на його вихід. Внаслідок цього на виході DD2 – «логічний нуль», а на виході DD3 – виникатиме «логічна одиниця» під час кожного приходу активного фронту імпульсу синхронізації генератора G2.

В разі подальшого виникнення на виході компаратора активного сигналу елемент DD2 формуватиме сигнал «логічної одиниці», що спричинюватиме скидання лічильника.

### 2.3.5 Розрахування двійкового лічильника

Лічильником називають пристрій послідовнісного типу, що призначений для підрахування числа імпульсів, що поступають на його вхід синхронізації, та зберігання цього числа у двійковому коді.

У мікропроцесорному пристрої лічильник визначатиме час функціонування виконавчих пристроїв у разі отримання цифрового сигналу з акустичного приймача.

Основна характеристика кожного лічильника – модуль рахування  $K_{\text{рах.}}$ , що являє собою кількість вхідних сигналів, які повертають лічильник у вихідний стан.

Синтезуємо паралельний двійковий лічильник з модулем рахування  $K_{\text{рах.}}=64$ .

Спочатку визначаємо необхідну кількість розрядів. У цьому разі:

$$m = \log_2 64 = 6.$$

Далі побудуємо таблицю станів лічильника.

Таблиця 2.4 – Таблиця функціонування двійкового підсумовувального лічильника з паралельним перенесенням

C	$Q_6^n$	$Q_5^n$	$Q_4^n$	$Q_3^n$	$Q_2^n$	$Q_1^n$	$Q_6^{n+1}$	$Q_5^{n+1}$	$Q_4^{n+1}$	$Q_3^{n+1}$	$Q_2^{n+1}$	$Q_1^{n+1}$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1

1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0
1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1
1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0



1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Складаємо карти Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду.

Карту Карно будемо за таблицею станів, де відображаємо перехід тригера  $Q_i^n \rightarrow Q_i^{n+1}$  у кожному такті залежно від стану останніх тригерів в такті  $n$  (рисунок 2.30).

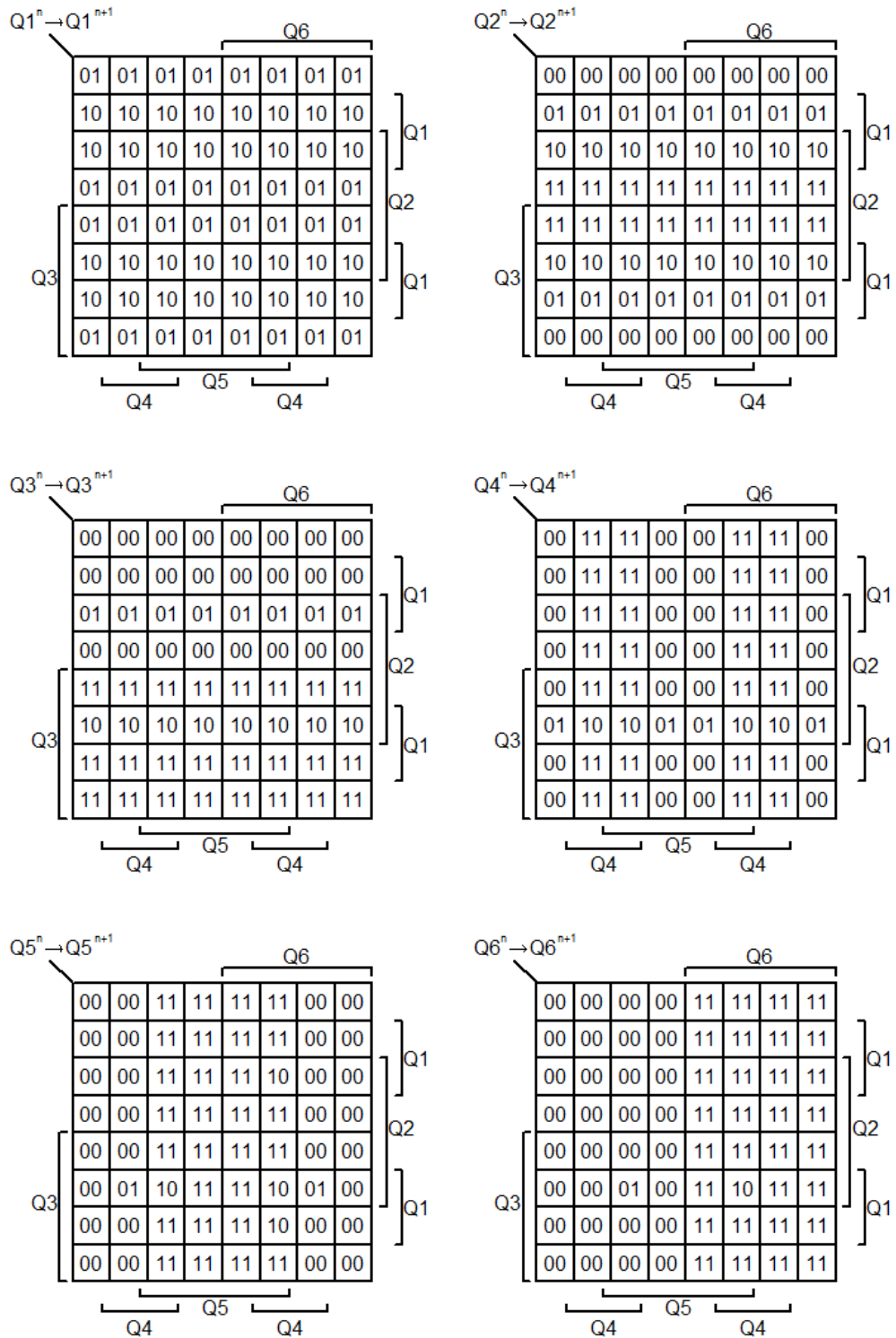


Рисунок 2.30 – Карта Карно для функцій переходів тригерів кожного розряду

Для побудування лічильника вибираємо, наприклад, JK-тригер.

JK-тригер являє собою електронний пристрій з двома стійкими вихідними станами та двома входами J і K.

Використовуючи словник переходів (рисунок 2.31), для кожного входу тригера складаємо карти Карно, в клітинках яких проставляємо сигнали, необхідні для забезпечення переходів тригерів, вказаних в однойменних клітинках карт функцій переходів.

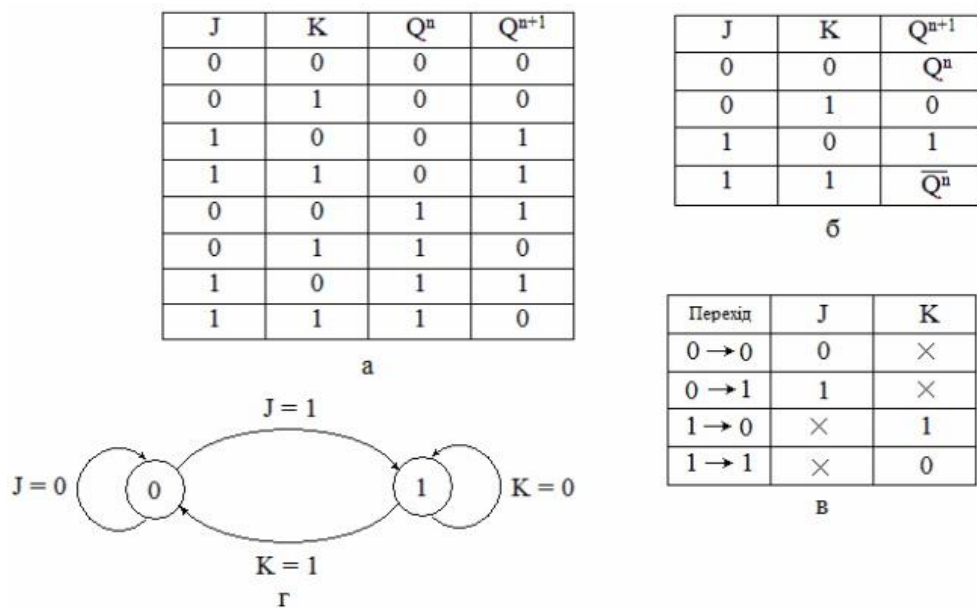


Рисунок 2.31 – Таблиця істинності (а), таблиця перемикань (б), словник переходів (в) та діаграма станів (г) JK-тригера [62]

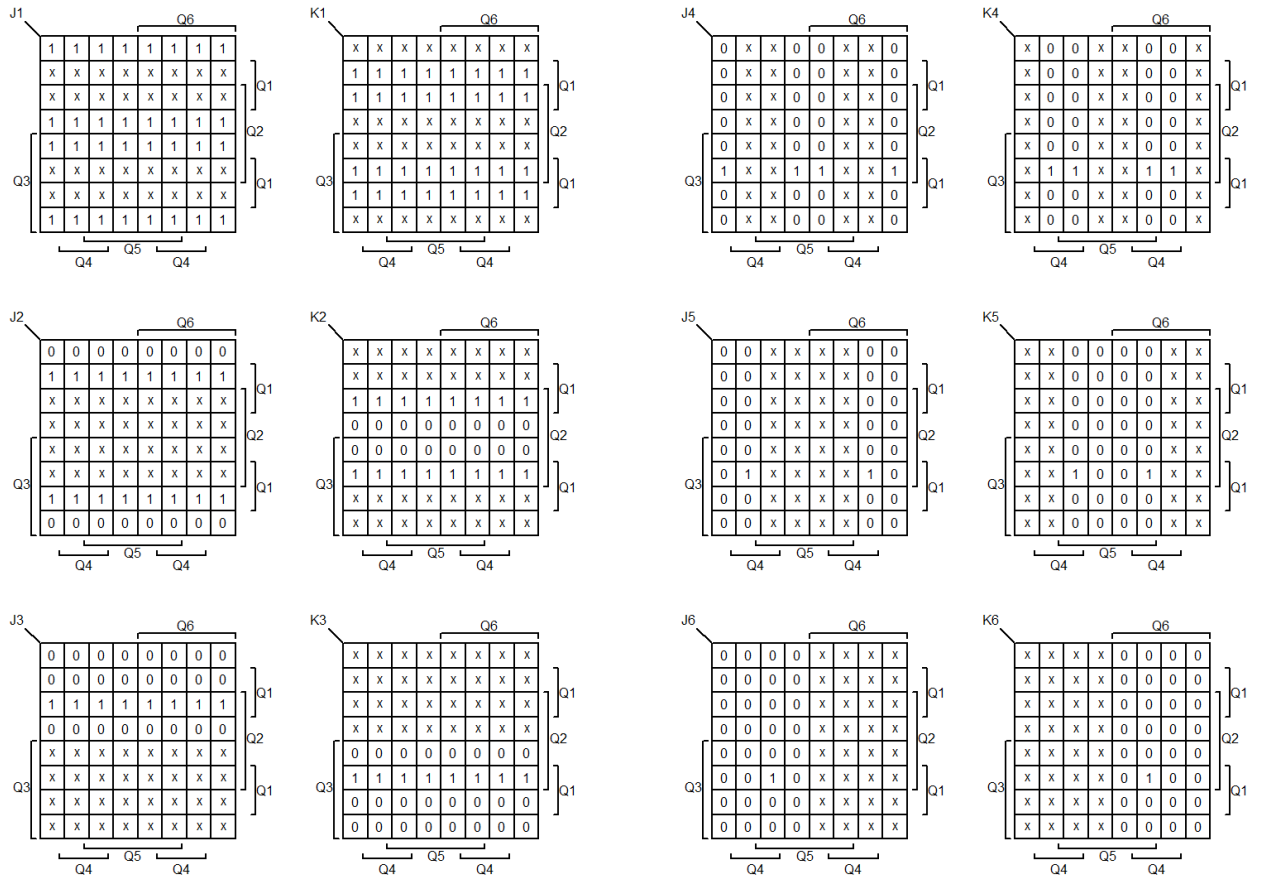


Рисунок 2.32 – Карти Карно для входів тригерів

Далі в картах Карно проводимо мінімізацію логічних функцій для здобуття їхніх аналітичних виразів, що показують зв'язки між входами і виходами всіх тригерів, які складають шестирозрядний лічильник. Під час мінімізації виробляємо до визначення функції там, де це можливо.

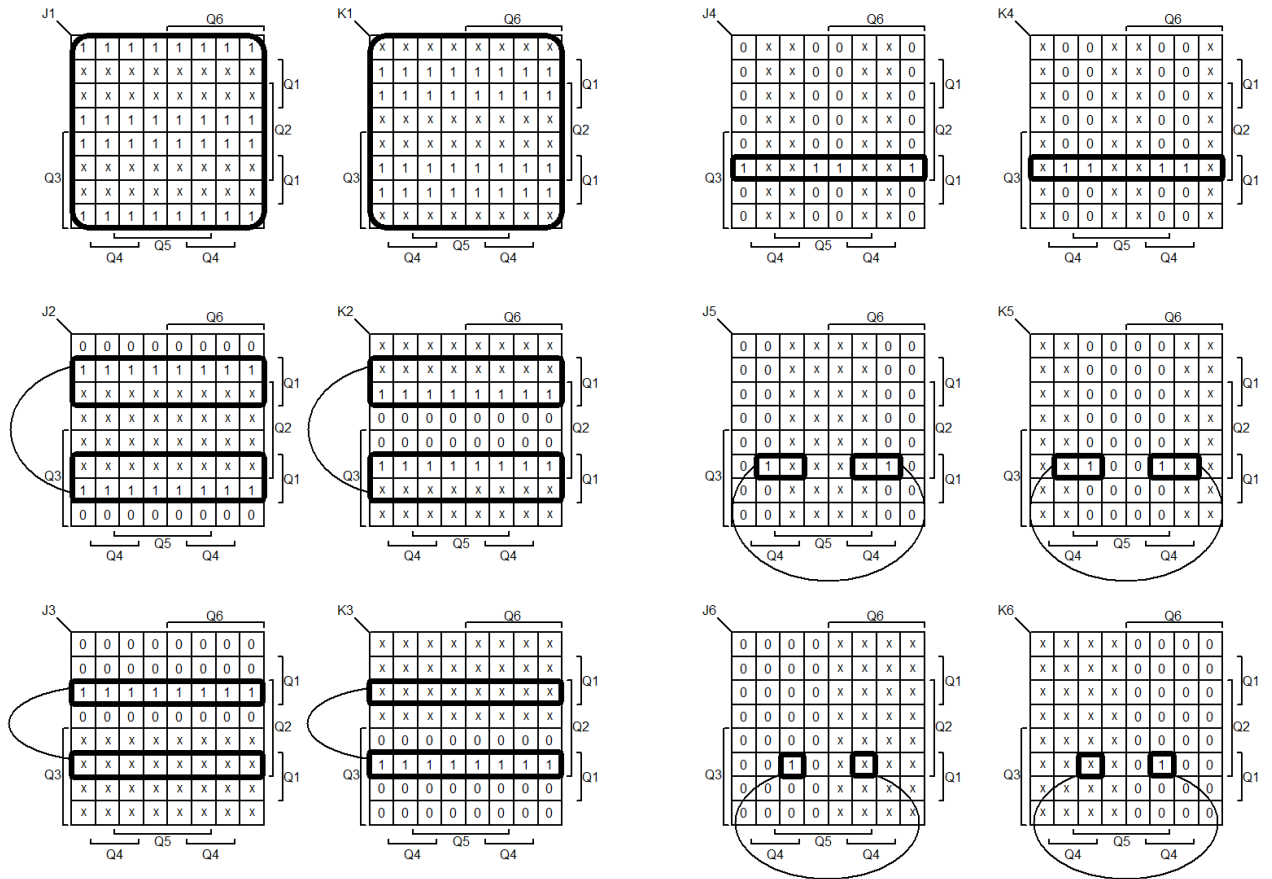


Рисунок 2.33 – Мінімізація логічних функцій для отримання аналітичних виразів

Внаслідок здійснення мінімізації отримано такі функції входів тригерів лічильника:

$$J1 = K1 = 1;$$

$$J2 = K2 = Q1;$$

$$J3 = K3 = Q1 \cdot Q2;$$

$$J4 = K4 = Q1 \cdot Q2 \cdot Q3;$$

$$J5 = K5 = Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot Q4;$$

$$J6 = K6 = Q1 \cdot Q2 \cdot Q3 \cdot Q4 \cdot Q5.$$

Принципову електричну схему шестирозрядного двійкового лічильника зображено на рисунку 2.34.

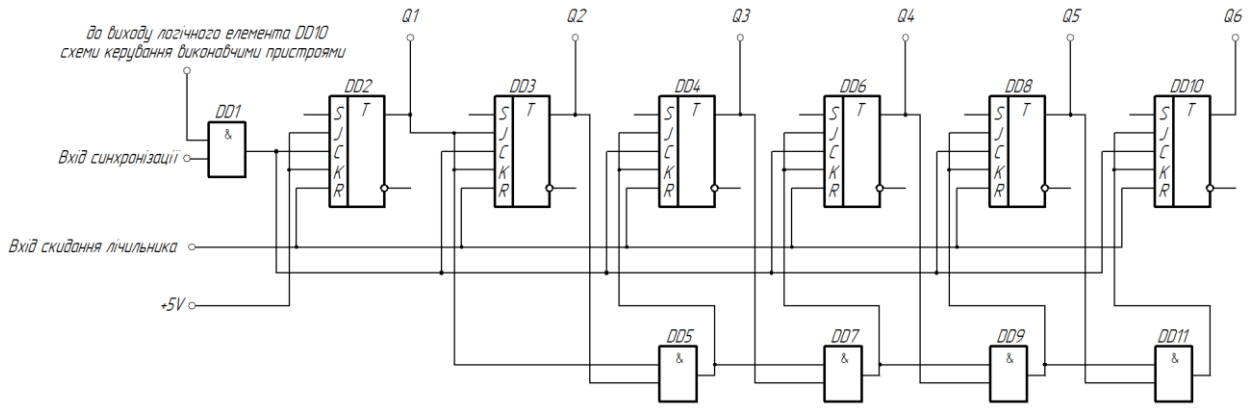


Рисунок 2.34 – Електрична схема шестирозрядного двійкового паралельного лічильника

Приведемо діаграму функціонування в середовищі Electronics Workbench 5.12.

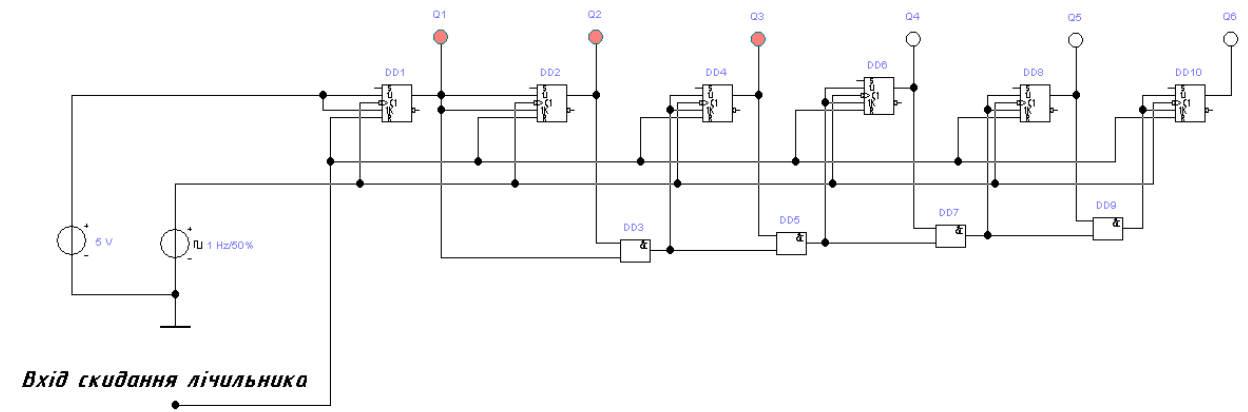


Рисунок 2.35 – Логічна схема двійкового паралельного шестирозрядного двійкового лічильника

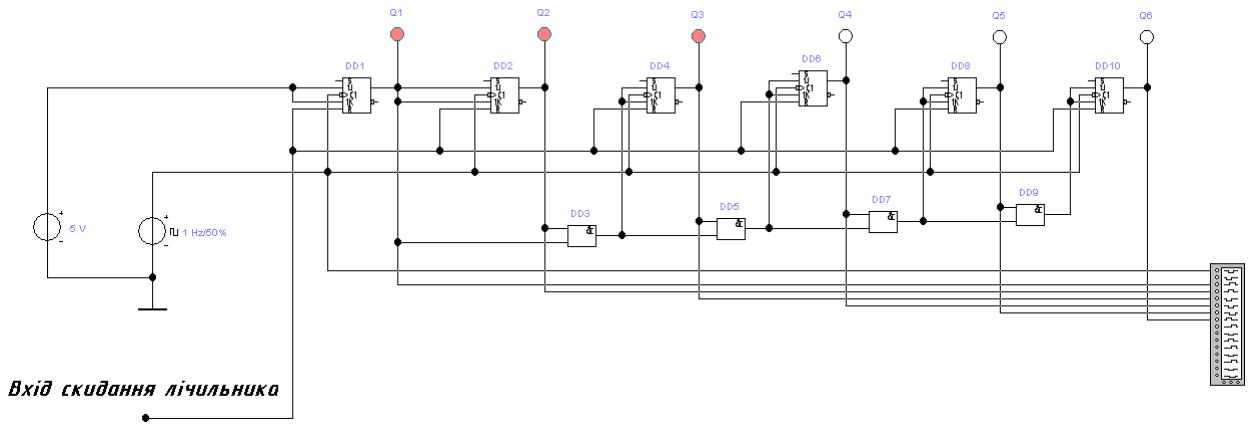


Рисунок 2.36 – Дослідження функціонування паралельного шестирозрядного двійкового лічильника з інверсним входом синхронізації

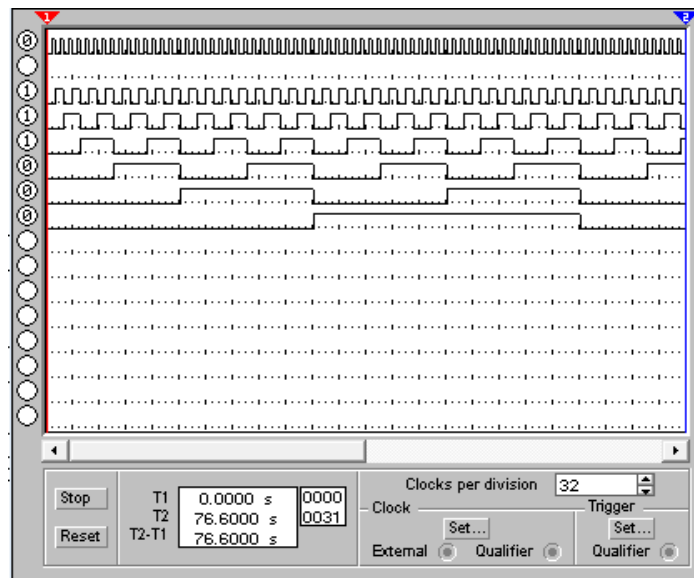


Рисунок 2.37 – Діаграма функціонування паралельного шестирозрядного двійкового лічильника з інверсним входом синхронізації

### 2.3.6 Схеми керування виконавчими пристроями

Схему керування виконавчими пристроями зображено на рисунку 2.38.

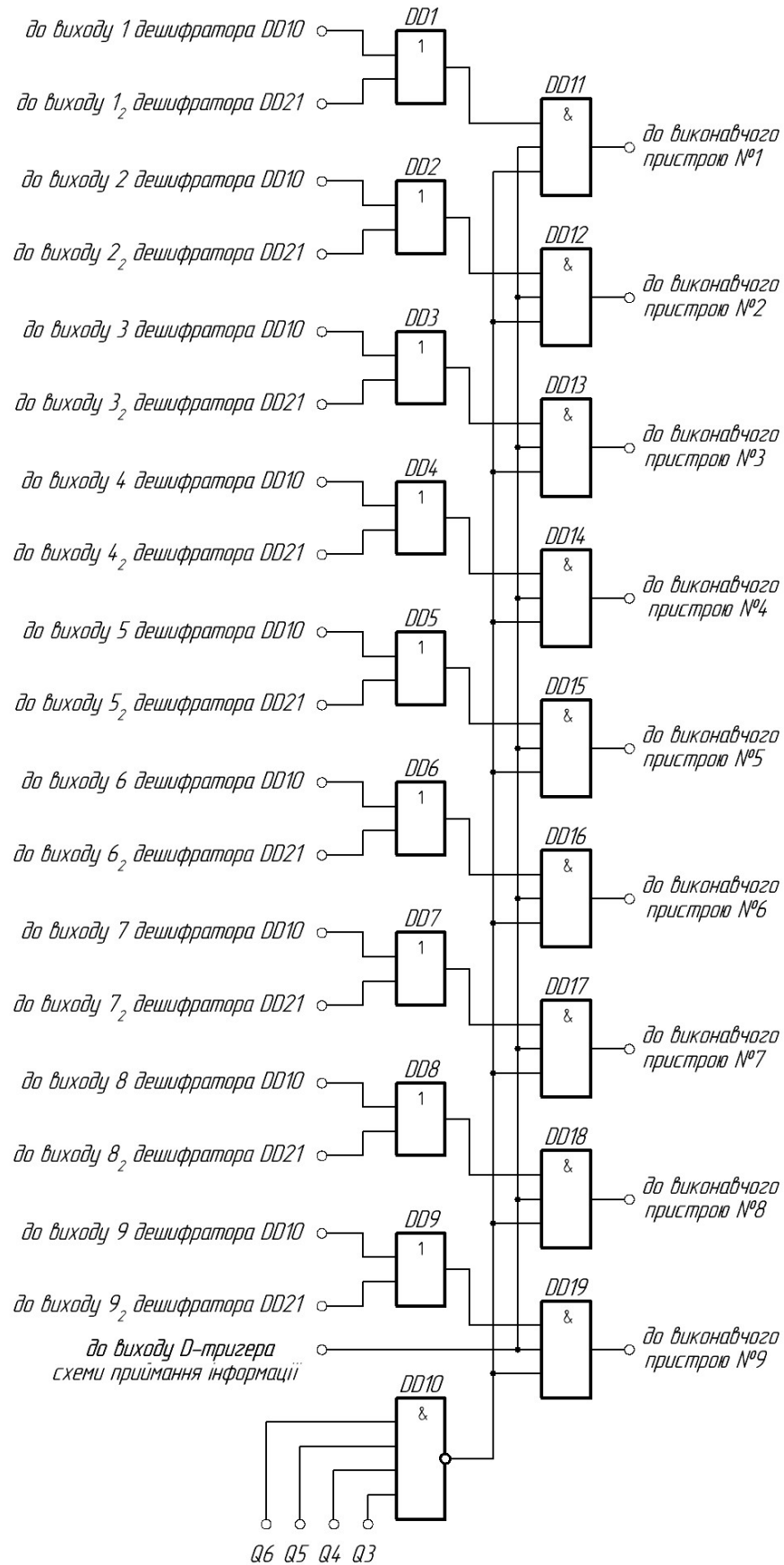


Рисунок 2.38 – Логічна схема керування виконавчими пристроями



Логічні елементи DD1–DD9 матимуть активний сигнал на виходах лише за умови активного сигналу на виході дешифратора DD10 або DD21.

Логічний елемент DD10 виконує операцію кон'юнкції з інверсією результату. На його входи надходять сигнали з шостого, п'ятого, четвертого та третього розрядів лічильника.

За наявності активних сигналів на виходах логічних елементів DD1–DD9, DD10 та на виході D-тригера схеми приймання інформації, логічні елементи DD11–DD19 формуватимуть на їхніх виходах активні сигнали («логічної одиниці») керування виконавчими пристроями.

### 2.3.7 Побудування логічної схеми мікропроцесорного пристрою

Логічну схему мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації зображено на рисунку 2.39.

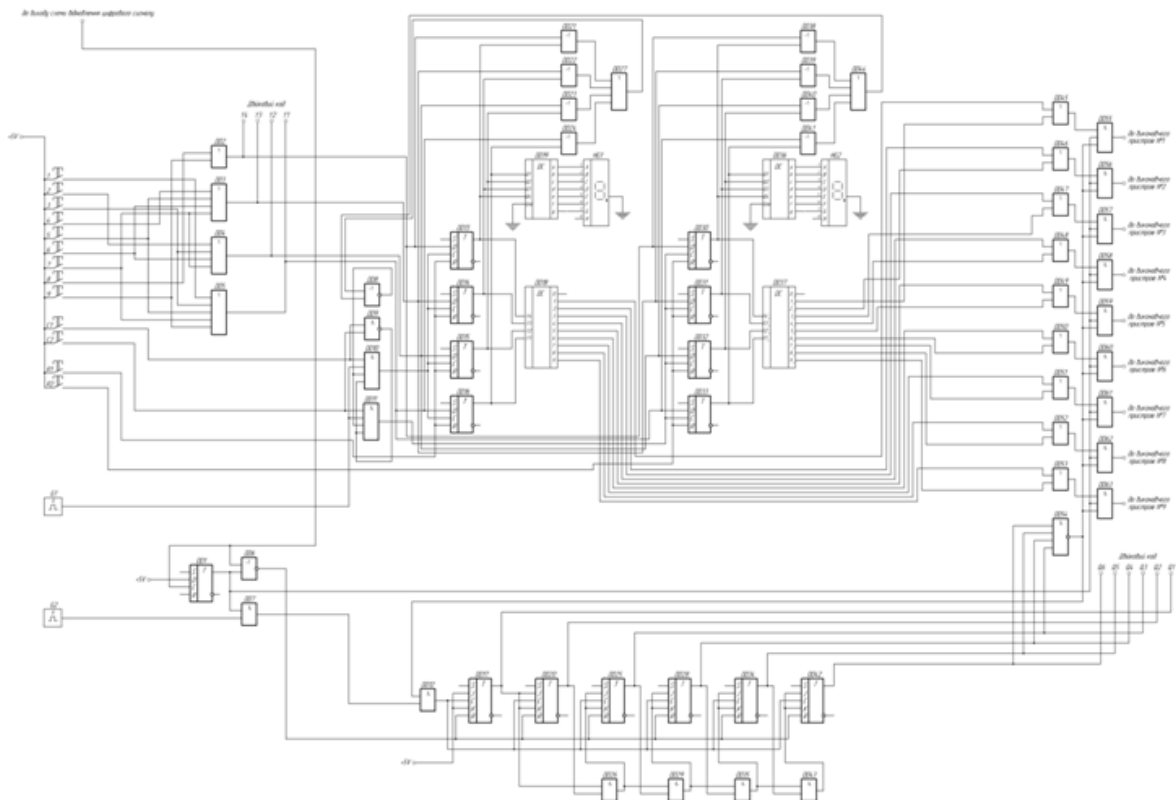


Рисунок 2.39 – Логічна схема мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації

Проведемо моделювання логічної схеми мікропроцесорного пристрою в середовищі Electronics Workbench 5.12.

Для зменшення габаритів схеми об'єднаємо її функціональні вузли в окремі інтегральні схеми.

Для імітування сигналу акустичного приймача застосуємо функціональний генератор як джерело напруги, що виробляє сигнали прямокутної форми (рисунок 2.40).

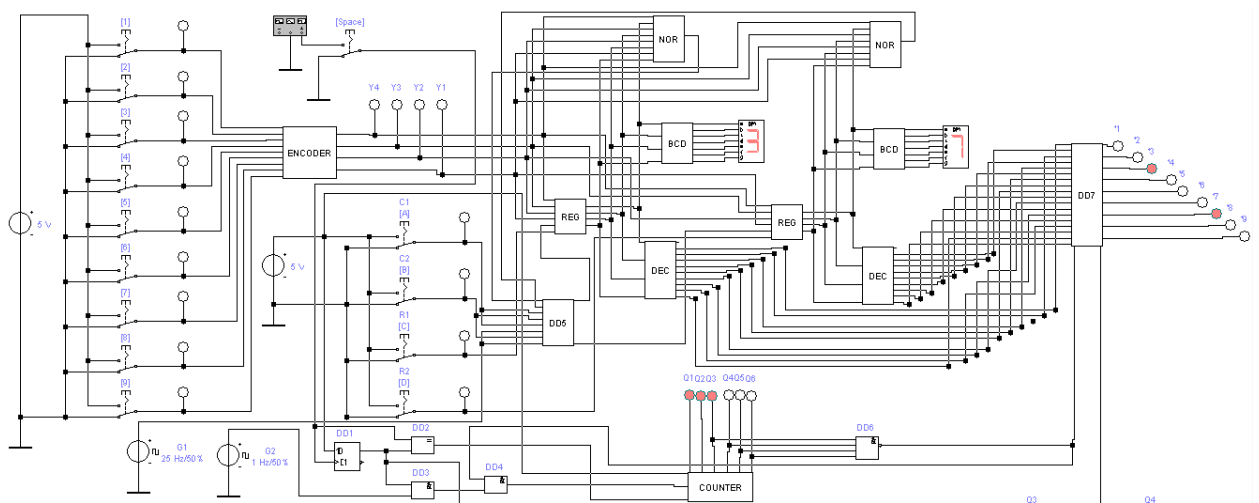


Рисунок 2.40 – Моделювання логічної схеми мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації в середовищі Electronics Workbench 5.12

### 2.3.8 Розрахування та моделювання генераторів тактових імпульсів

У мікропроцесорному пристрої приймання та оброблення інформації використовується два генератори тактових імпульсів для безпосереднього узгодження функціонування накопичувача інформації (генератор G1) та двійкового шестирозрядного лічильника (генератор G2).

Структурна схема генератора імпульсів (мультивібратора) зображена на рисунку 2.41 та детально описана в практичному посібнику [54].

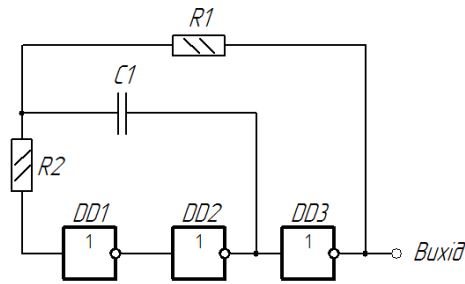


Рисунок 2.41 – Генератор імпульсів, побудований за допомогою трьох інверторів [54]

Форма коливань в генераторі на мікросхемах з одним захисним діодом (наприклад, К561ЛН2) зображена на рисунку 2.42. Верхня діаграма показує залежність від часу напруги на лівій обкладці конденсатора, нижня – на виході генератора. Спадання напруги з виходу елемента DD2, потрапляючи на вхід елемента DD1 через конденсатор C1 і резистор R2, обмежується вхідним діодом на рівні, близькому до логічного нуля, після чого починається заряджання конденсатора через резистор R1, що підвищує напругу на лівій обкладці конденсатора. Час його заряджання до порогового рівня приблизно становить:

$$0,7 \cdot R1 \cdot C1, \quad (2.8)$$

де R1 – опір резистора R1, Ом; C1 – ємність конденсатора C1, Ф.

Лавиноподібний процес перемикування елементів призводить до передавання з виходу елемента DD2 на вхід елемента DD1 позитивного перепаданя напруги з амплітудою, яка дорівнює напрузі живлення. Перезаряджання конденсатора C1 у бік зменшення напруги на лівій обкладці почнеться від напруги  $U_{жив.} + U_{пор.}$ , внаслідок чого цей процес займе більше часу – приблизно

$$1,1 \cdot R1 \cdot C1. \quad (2.9)$$

Повний період коливань T становитиме

$$T = 1,8 \cdot R1 \cdot C1, \quad (2.10)$$

водночас частота f – приблизно

$$f = \frac{0,55}{R1 \cdot C1} \quad (2.11)$$

Резистор R2 призначений для обмеження струму через входні діоди та зменшення навантаження на елемент DD2. Опір такого резистора становить переважно 10 кОм.

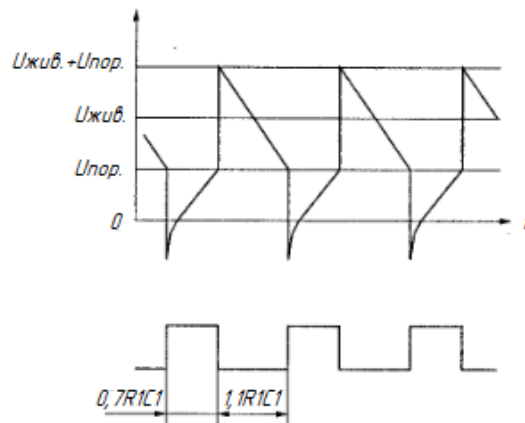


Рисунок 2.42 – Часова діаграма генератора прямокутних імпульсів [54]

Для генератора G1 за умови  $R1_{G1} = 10$  кОм та  $C1_{G1} = 2,2$  мкФ частота становитиме:

$$f_{G1} = \frac{0,55}{10000 \text{ Ом} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 25 \text{ Гц.}$$

Позитивний напівперіод:

$$0,7 \cdot 10000 \text{ Ом} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \approx 0,0154 \text{ с.}$$

Негативний напівперіод:

$$1,1 \cdot 10000 \text{ Ом} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \approx 0,0242 \text{ с.}$$

Повний період коливачь становитиме

$$1,8 \cdot 10000 \text{ Ом} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} \approx 0,0396 \text{ с.}$$

Для генератора G2 за умови  $R1_{G2} = 100$  кОм та  $C1_{G2} = 4,7$  мкФ частота становитиме:

$$f_{G2} = \frac{0,55}{100000 \text{ Ом} \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} \approx 1,1702 \text{ Гц} \approx 1 \text{ Гц.}$$

Водночас позитивний напівперіод:

$$0,7 \cdot 100000 \text{ Ом} \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,329 \text{ с.}$$

Негативний напівперіод:

$$1,1 \cdot 100000 \text{ Ом} \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,517 \text{ с.}$$

Повний період коливань становитиме:

$$1,8 \cdot 100000 \text{ Ом} \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф} = 0,846 \text{ с.}$$

Проведемо моделювання генераторів імпульсів у середовищі автоматизованого проектування електронних схем Proteus 7.10.

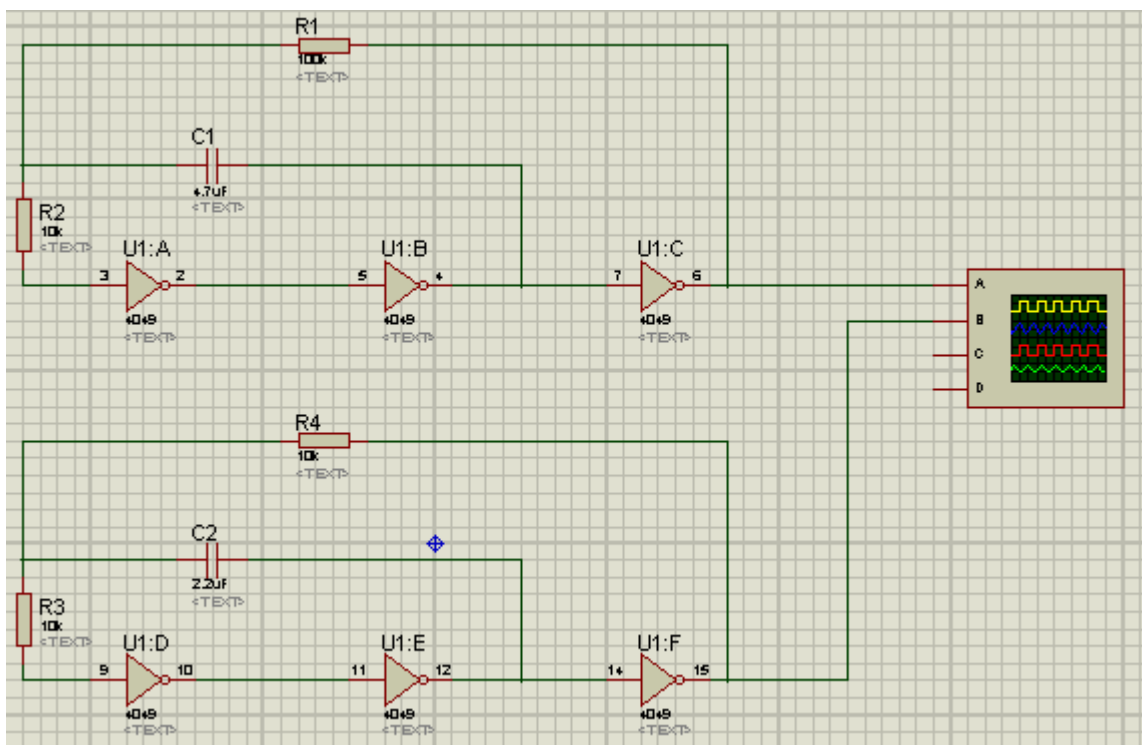


Рисунок 2.43 – Моделювання генераторів прямокутних імпульсів на мікросхемі CD4049 (аналог К561ЛН2) у середовищі Proteus 7.10

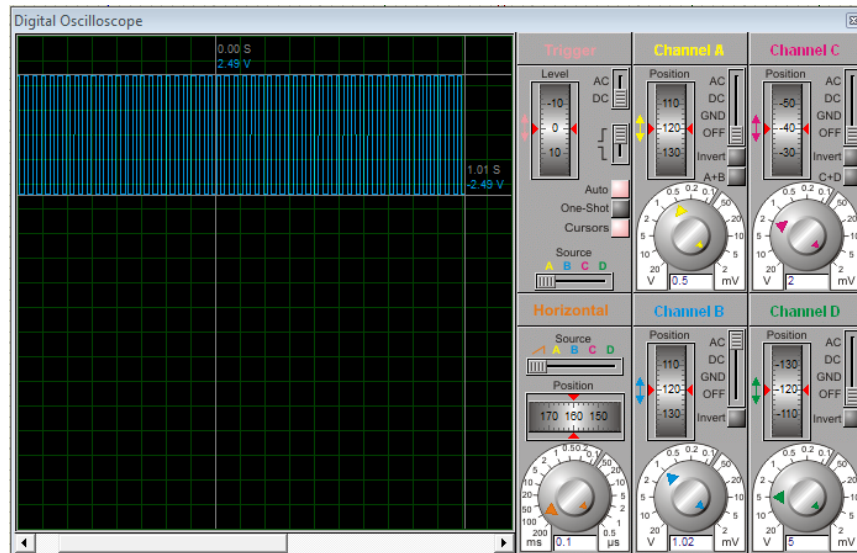


Рисунок 2.44 – Осцилограма генератора прямокутних імпульсів G1 у середовищі Proteus 7.10

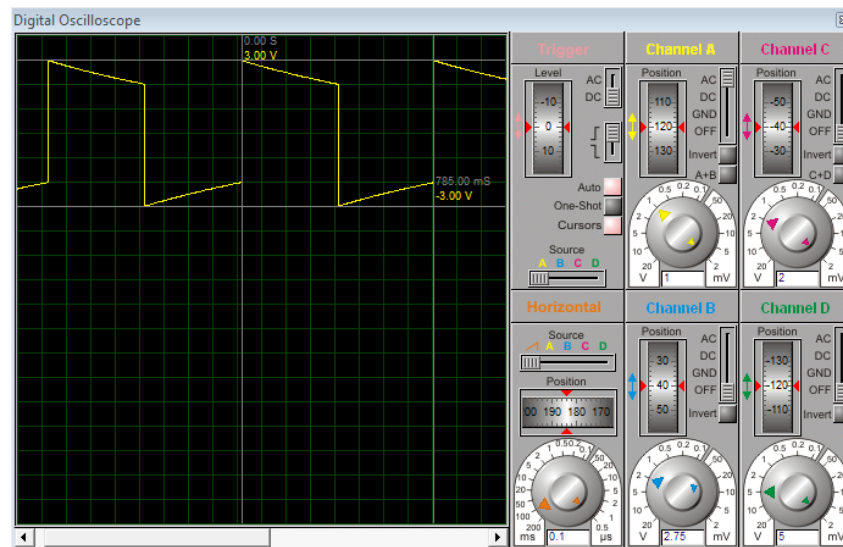


Рисунок 2.45 – Осцилограма генератора прямокутних імпульсів G2 у середовищі Proteus 7.10

Застосування змінного резистора R1, опір якого становить 1МОм, дає змогу здійснювати регулювання частоти генератора G2 та насамперед і час функціонування виконавчих пристроїв у разі отримання активного сигналу з акустичного приймача.

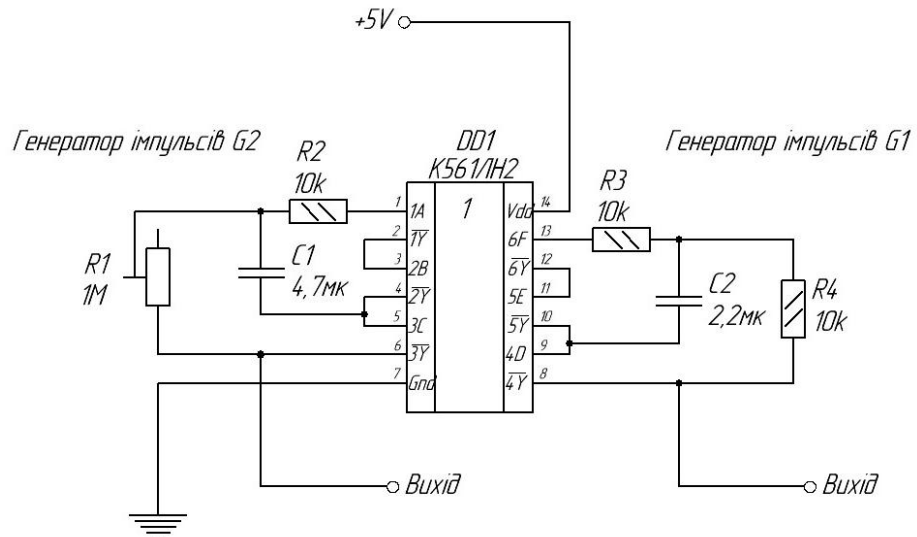


Рисунок 2.46 – Генератори тактових імпульсів на мікросхемі К561ЛН2

### 2.3.9 Побудування мікропроцесорного пристрою за допомогою інтегральних мікросхем

Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації побудований на мікросхемах КМОН-логіки та зображений на рисунку 2.47.

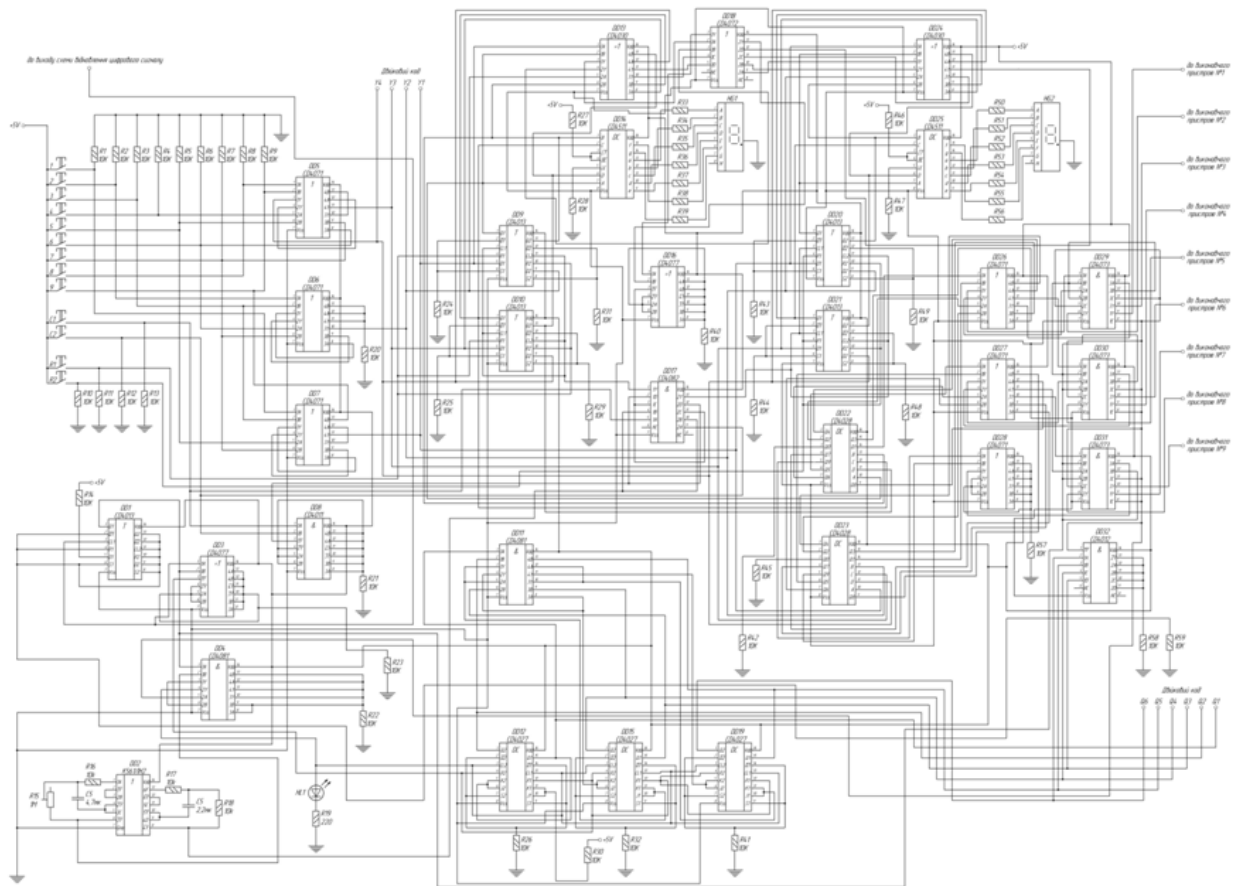


Рисунок 2.47 – Мікропроцесорний пристрій приймання та оброблення інформації, побудований за допомогою мікросхем КМОП-логіки

Мікросхеми цієї серії виготовляють за технологією комплементарних транзисторів структури «метал-оксид-напівпровідник (КМОП)».

Головною особливістю мікросхем КМОП-логіки є мале споживання струму в статичному режимі – близько 0,1...100 мкА.

У схемі на рисунку 2.47 опір резисторів R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39 та резисторів R50, R51, R52, R53, R54, R55, R56 становить 220 Ом. Ці резистори є струмообмежувальними та призначені для забезпечення належного функціонування семисегментних індикаторів HG1 і HG2.

Опір резистора R19 також становить 220 Ом та є струмообмежувальним для світлодіода HL1.

Інші резистори у схемі призначені для запобігання функціонування мікросхем у невизначеному стані. Їхній опір становить 10 кОм. [54]



## 2.4 Виконавчі пристрої

У дипломному проєктуванні як виконавчі пристрої застосуємо звукові та світлові оповіщувачі дротового типу підключення, які в разі отримання керувального сигналу з мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації утворюють сигнали звукової та світлової потужності.

### 2.4.1 Звуковий оповіщувач SA-103



Рисунок 2.48 – Зовнішній вигляд сирени звукової SA-103 [58]

Сирена звукова SA-103 у разі подавання напруги живлення утворює звукове сповіщення.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики сирени звукової SA-103 [58]

Найменування характеристики	Параметри
Тип підключення	Дротовий
Тип сповіщення	Звуковий
Діапазон робочих температур, °C	-10 + 55
Гучність, дБ/м	110
Робоча вологість, %	Не більше 95
Робоча напруга, В	12
Струм споживання, мА	150
Габаритні розміри (довжина, ширина, висота), мм	45×40×60

### 2.4.2 Світловий оповіщувач М-06



Рисунок 2.49 – Зовнішній вигляд світлового оповіщувача М-06 [61]

Світловий оповіщувач «Соло» М-06 призначений для утворення світлових переривчастих сигналів. Використовується переважно у системах охоронно-пожежної сигналізації.

Таблиця 2.6 – Характеристики світлового оповіщувача М-06 [61]

Параметр	Норма для типу М-06-12/24 В
Діапазон напруги живлення, В	від 9 до 27 постійного струму
Струм споживання, мА	55
Габаритні розміри (довжина, ширина, висота), мм, не більше	96×Ø74×60
Маса, кг, не більше	0.100
Діапазон робочих температур, °С	від -25 до +70
Відносна вологість, %	(93±3) за температури 35°С
Ступінь захисту оболонки	IP 43
Тип випромінюваного сигналу	Світловий переривчастий

### 2.4.3 Світло-звуковий оповіщувач ATIS LD-95

Світло-звуковий оповіщувач ATIS LD-95 являє собою сигнальний пристрій для влаштування в приміщенні та призначений для доведення

світлових та звукових сигналів на об'єктах з охоронно-пожежною сигналізацією.

Потужність звукових коливань становить 100 дБ/м.



Рисунок 2.50 – Світлозвуковий оповіщувач ATIS LD-95 [57]

Таблиця 2.7 – Характеристики світлозвукового оповіщувача [57]

Найменування характеристики	Параметри
Тип підключення	Дротовий
Тип оповіщення	Світлозвуковий
Напруга живлення (сигналу), В	12
Струм споживання, мА	150
Діапазон робочих температур, °С	від -30 до +55
Габаритні розміри (довжина, ширина, висота), мм	122×73×75

#### 2.4.4 Комутування електричних кіл виконавчих пристроїв

Комутування електронних кіл звукових та світлових оповіщувачів можна здійснити за допомогою біполярного транзисторного ключа n-p-n типу.

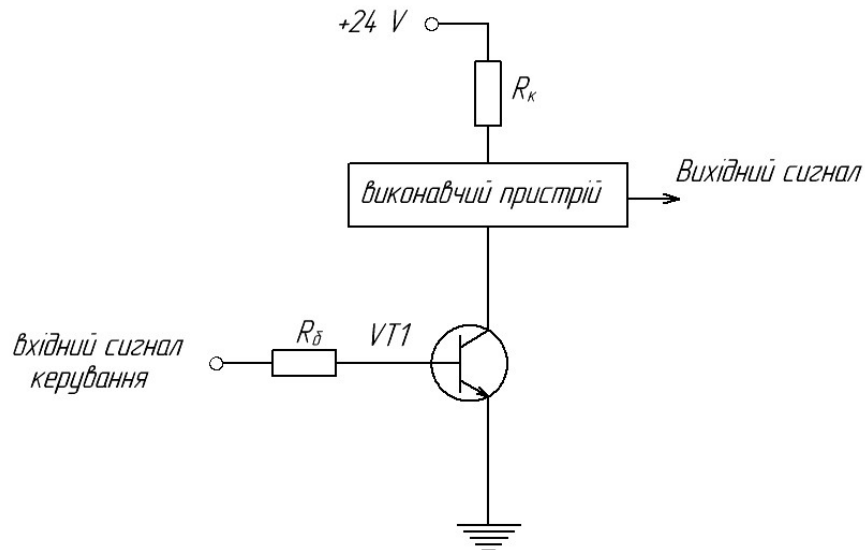


Рисунок 2.51 – Структурна схема електронного ключа, побудованого за допомогою біполярного транзистора n-p-n типу [60]

Структурна схема складається з біполярного транзистора (VT1), опору бази  $R_{\delta}$ , опору колектора  $R_K$  та виконавчого пристрою.

Резистор  $R_{\delta}$  забезпечує режим керування за струмом. Виконавчий пристрій як навантаження підключений у колекторне коло транзистора VT1.

Проведемо розрахування параметрів електронного ключа для звукового оповіщувача SA-103, використовуючи біполярний транзистор 2N2222A.

Спочатку розрахуємо значення падіння напруги на резисторі  $R_{K1}$  (за умови насичення транзистора 2N2222A):

$$U_{R_{K1}} = U_{\text{жив.}} - U_{SA103} - U_{CE},$$

де  $U_{\text{жив.}}$  – напруга джерела живлення, В;  $U_{SA103}$  – напруга живлення сирени звукової SA103, В;  $U_{CE}$  – падіння напруги на переході колектор-емітер, 0,3 В;

$$U_{R_{K1}} = 24 \text{ В} - 12 \text{ В} - 0,3 \text{ В} = 11,7 \text{ В}.$$

З огляду на струм споживання, що становить 150 мА (0,15 А), відповідно до закону Ома опір резистора  $R_{K1}$  становитиме:

$$R_{K1} = \frac{U_{R_{K1}}}{0,15} = \frac{11,7}{0,15} = 78 \text{ Ом}.$$

Для забезпечення режиму насичення транзистора обираємо коефіцієнт підсилення за струмом, який становитиме 50 ( $\beta = h_{FE} = 50$ ).

Так для струму 150 мА керувальний струм  $I_{\beta_1}$  повинен бути в 50 разів менше:

$$I_{\beta_1} = \frac{0,15 \text{ A}}{50} = 0,003 \text{ A} = 3 \text{ mA}.$$

Розрахування опору резистора  $R_{\beta_1}$  виконаємо за допомогою формули:

$$R_{\beta_1} = \frac{U_{\text{вих.}} - U_{\text{BE}}}{I_{\beta_1}},$$

де  $U_{\text{вих.}}$  – значення напруги на виході мікропроцесорного пристрою, що перебуває в межах 4,95 В;  $U_{\text{BE}}$  – значення падіння напруги на переході база-емітер, що становить 0,6 В;  $I_{\beta_1}$  – керувальний струм, А;

$$R_{\beta_1} = \frac{U_{\text{вих.}} - U_{\text{BE}}}{I_{\beta_1}} = \frac{4,95 \text{ В} - 0,6 \text{ В}}{0,003 \text{ А}} = 1450 \text{ Ом} \approx 1,3 \text{ кОм}.$$

Розрахуємо потужність резисторів  $R_{\kappa_1}$  та  $R_{\beta_1}$ , а також потужність розсіювання транзистора:

$$P_{R_{\kappa_1}} = I_{\kappa_1}^2 \cdot R_{\kappa_1} = 0,15 \text{ A}^2 \cdot 78 \text{ Ом} = 1,755 \text{ Вт};$$

$$P_{R_{\beta_1}} = I_{\beta_1}^2 \cdot R_{\beta_1} = 0,003 \text{ A}^2 \cdot 1450 \text{ Ом} = 0,01305 \text{ Вт};$$

$$P_{2N2222A_1} = I_{\kappa_1} \cdot U_{\text{CE}} = 0,15 \text{ А} \cdot 0,3 \text{ В} = 0,045 \text{ Вт} = 45 \text{ мВт}.$$

Проведемо розрахування параметрів електронного ключа для світлового оповіщувача М-06, також використовуючи біполярний транзистор 2N2222А.

Зважаючи на струм споживання світлового оповіщувача, що становить 55 мА, керувальний струм  $I_{\beta_2}$  становитиме:

$$I_{\beta_2} = \frac{0,055}{50} = 0,0011 \text{ А} = 1,1 \text{ mA}.$$

Розрахуємо опір резистора  $R_{\beta_2}$ :

$$R_{\beta_2} = \frac{U_{\text{вих.}} - U_{\text{BE}}}{I_{\beta_2}} = \frac{4,95 \text{ В} - 0,6 \text{ В}}{0,0011 \text{ А}} = 3954,54 \text{ Ом} \approx 3,9 \text{ кОм}.$$

Розрахуємо потужність резистора  $R_{\beta_2}$ :

$$P_{R_{\beta_2}} = I_{\beta_2}^2 \cdot R_{\beta_2} = 0,0011 \text{ A}^2 \cdot 3954,545 \text{ Ом} = 0,00478 \text{ Вт}.$$

$$P_{2N2222A_2} = I_{K_2} \cdot U_{CE} = 0,055 \text{ A} \cdot 0,3 \text{ В} = 0,0165 \text{ Вт} = 16,5 \text{ мВт.}$$

Проведемо розрахування параметрів електронного ключа для світлозвукового оповіщувача ATIS LD-95.

Спочатку розрахуємо значення падіння напруги на резисторі  $R_{K_3}$ :

$$U_{R_{K_3}} = U_{\text{жив.}} - U_{LD-95} - U_{CE},$$

де  $U_{\text{жив.}}$  – напруга джерела живлення, В;  $U_{LD-95}$  – напруга живлення світлозвукового оповіщувача ATIS LD-95, В;  $U_{CE}$  – падіння напруги на переході колектор-емітер, 0,3 В;

$$U_{R_{K_3}} = 24 - 12 - 0,3 = 11,7 \text{ В.}$$

Відповідно до характеристик світлозвукового оповіщувача ATIS LD-95 струм споживання становить 150 мА (0,15 А). Тоді опір резистора  $R_{K_3}$  та керувальний струм  $I_{\beta_3}$ , а також опір резистора  $R_{\beta_3}$  становитимуть:

$$R_{K_3} = \frac{U_{R_{K_3}}}{I_{K_3}} = \frac{11,7 \text{ В}}{0,15 \text{ А}} = 78 \text{ Ом};$$

$$I_{\beta_3} = \frac{0,15 \text{ А}}{50} = 0,003 \text{ А} = 3 \text{ мА};$$

$$R_{\beta_3} = \frac{U_{\text{вих.}} - U_{BE}}{I_{\beta_3}} = \frac{4,95 - 0,6}{0,0011} = 1450 \text{ Ом} = 1,3 \text{ кОм.}$$

Розрахуємо потужність резисторів  $R_{K_3}$  та  $R_{\beta_3}$ :

$$P_{R_{K_3}} = I_{K_3}^2 \cdot R_{K_3} = 0,15 \text{ А}^2 \cdot 78 \text{ Ом} = 1,755 \text{ Вт};$$

$$P_{R_{\beta_3}} = I_{\beta_3}^2 \cdot R_{\beta_3} = 0,003 \text{ А}^2 \cdot 1450 \text{ Ом} = 0,01305 \text{ Вт.}$$

$$P_{2N2222A_3} = I_{K_3} \cdot U_{CE} = 0,15 \text{ А} \cdot 0,3 \text{ В} = 0,045 \text{ Вт} = 45 \text{ мВт.}$$

Комутування електричних кіл виконавчих пристроїв з мікропроцесорним пристроєм приймання та оброблення інформації зображено на рисунку 2.52.

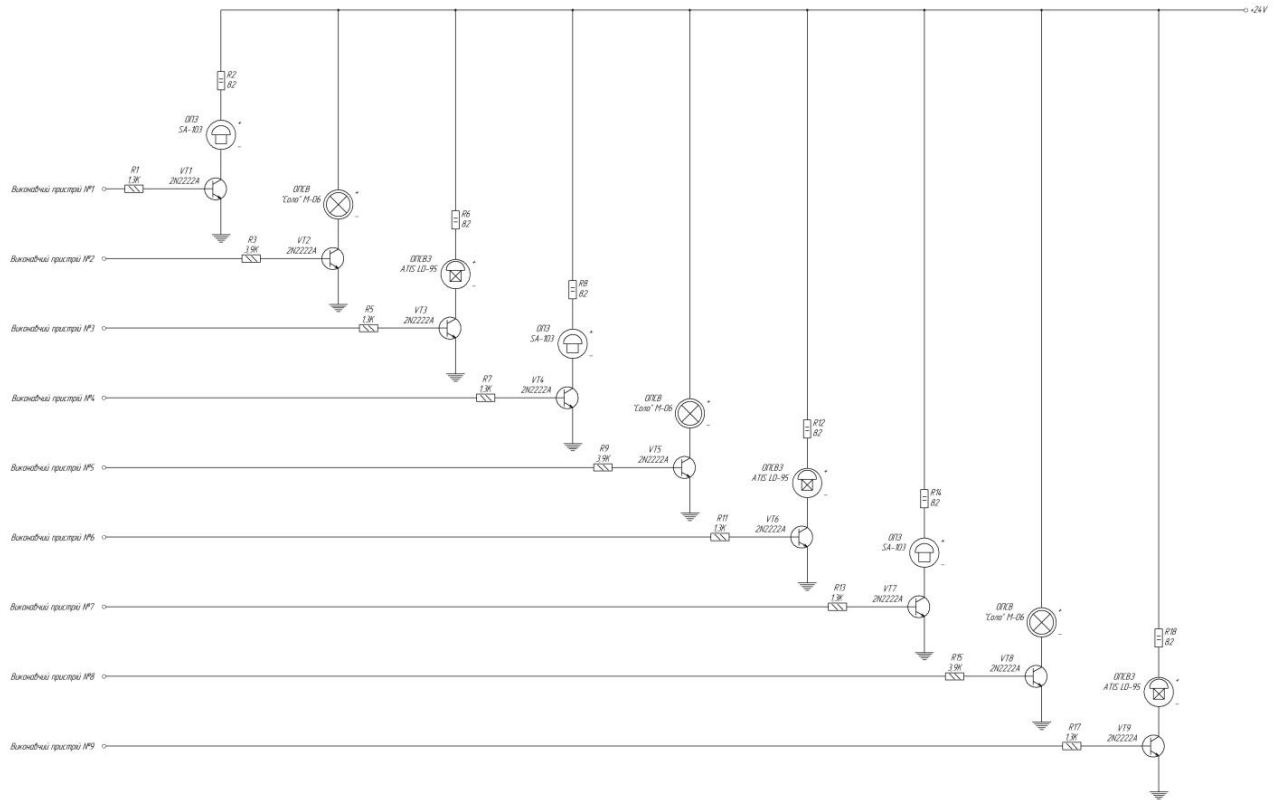


Рисунок 2.52 – Виконавчі пристрої [55]

## 2.5 Розроблення друкованої плати пристрою

Розроблення одношарової друкованої плати мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості проведемо в середовищі проектування електричних принципових схем sPlan 5.0.

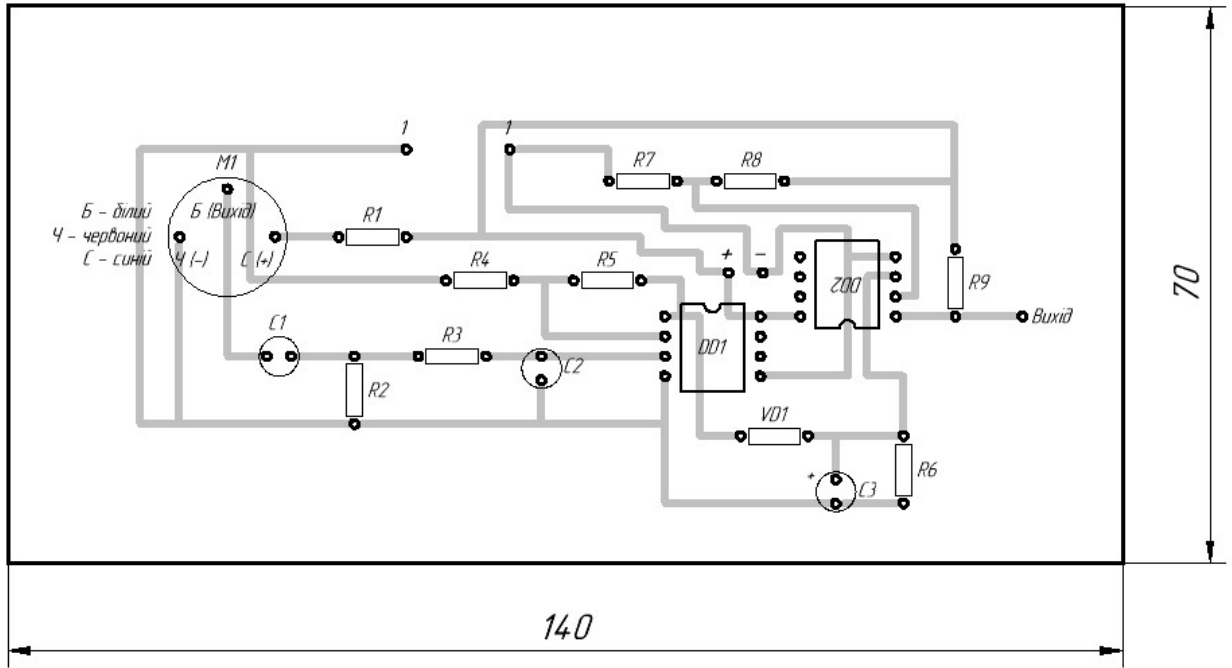


Рисунок 2.53 – Зовнішній вигляд друкованої плати акустичного приймача

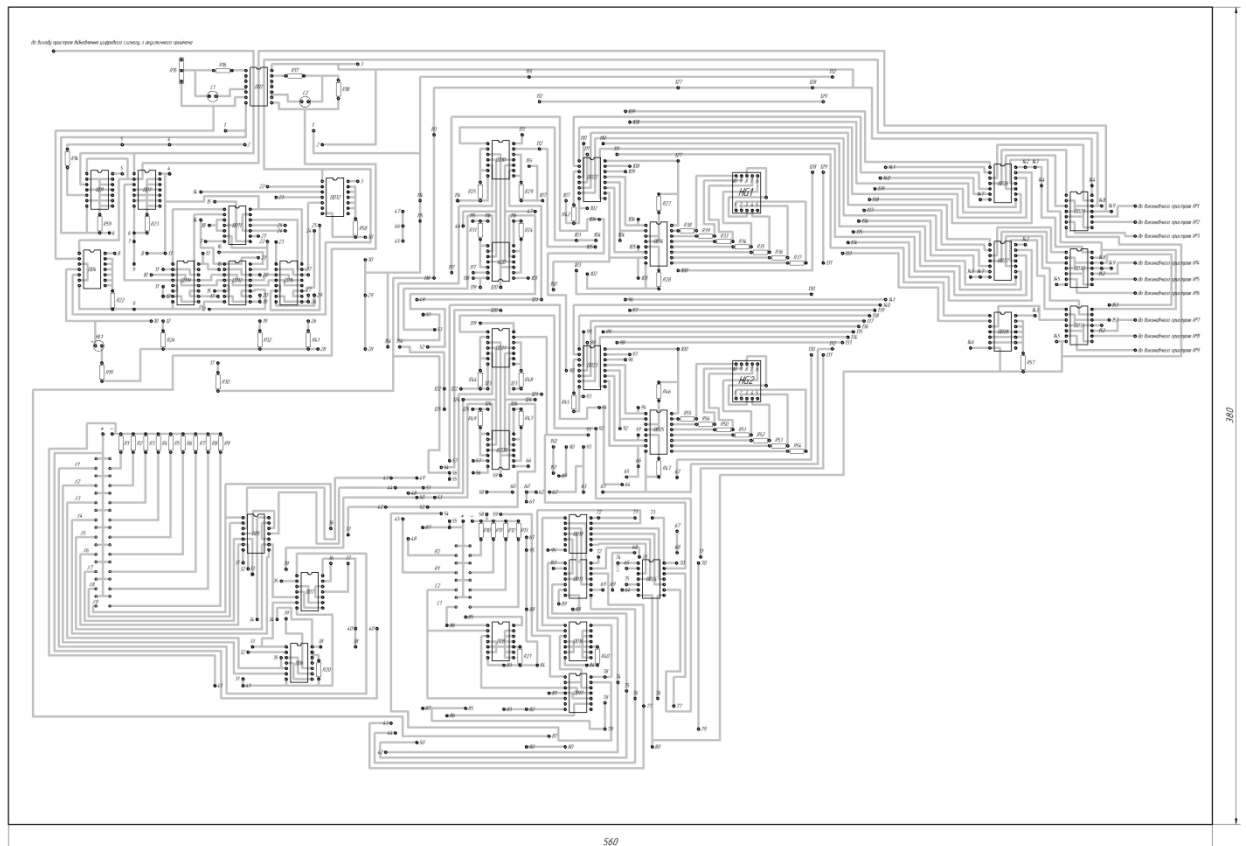


Рисунок 2.54 – Зовнішній вигляд друкованої плати мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації



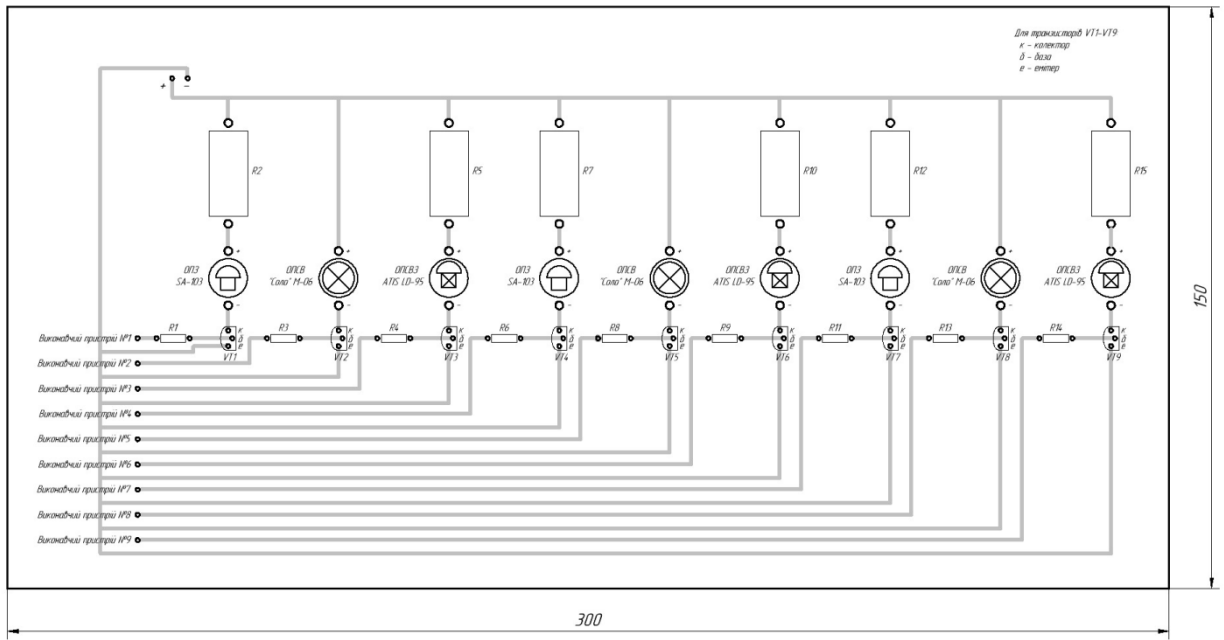


Рисунок 2.55 – Зовнішній вигляд друкованої плати комутування електричних кіл виконавчих пристроїв

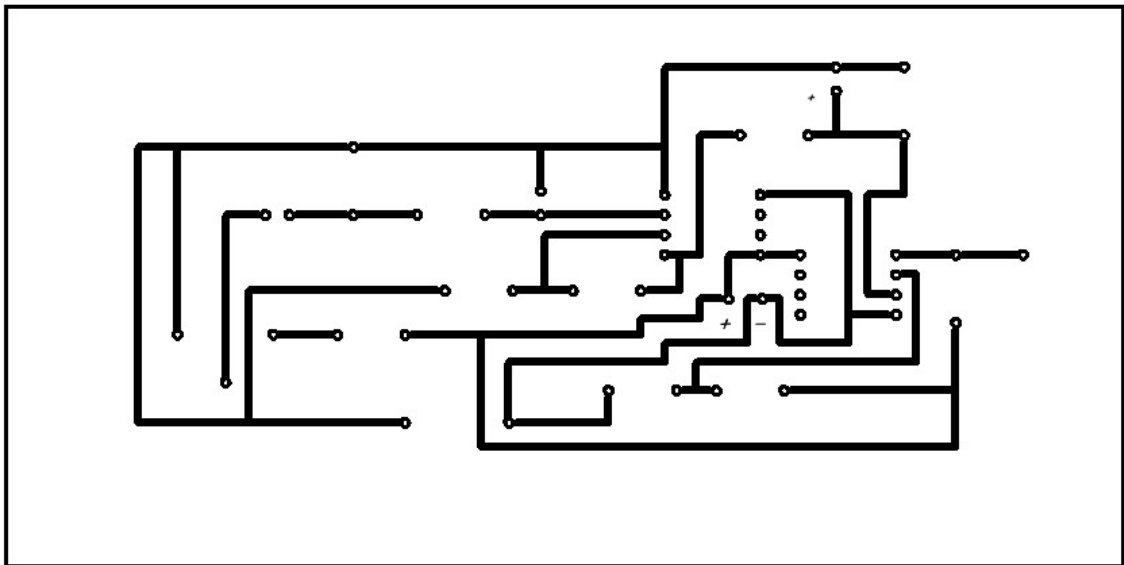


Рисунок 2.56 – Дзеркальне відображення друкованої плати акустичного приймача

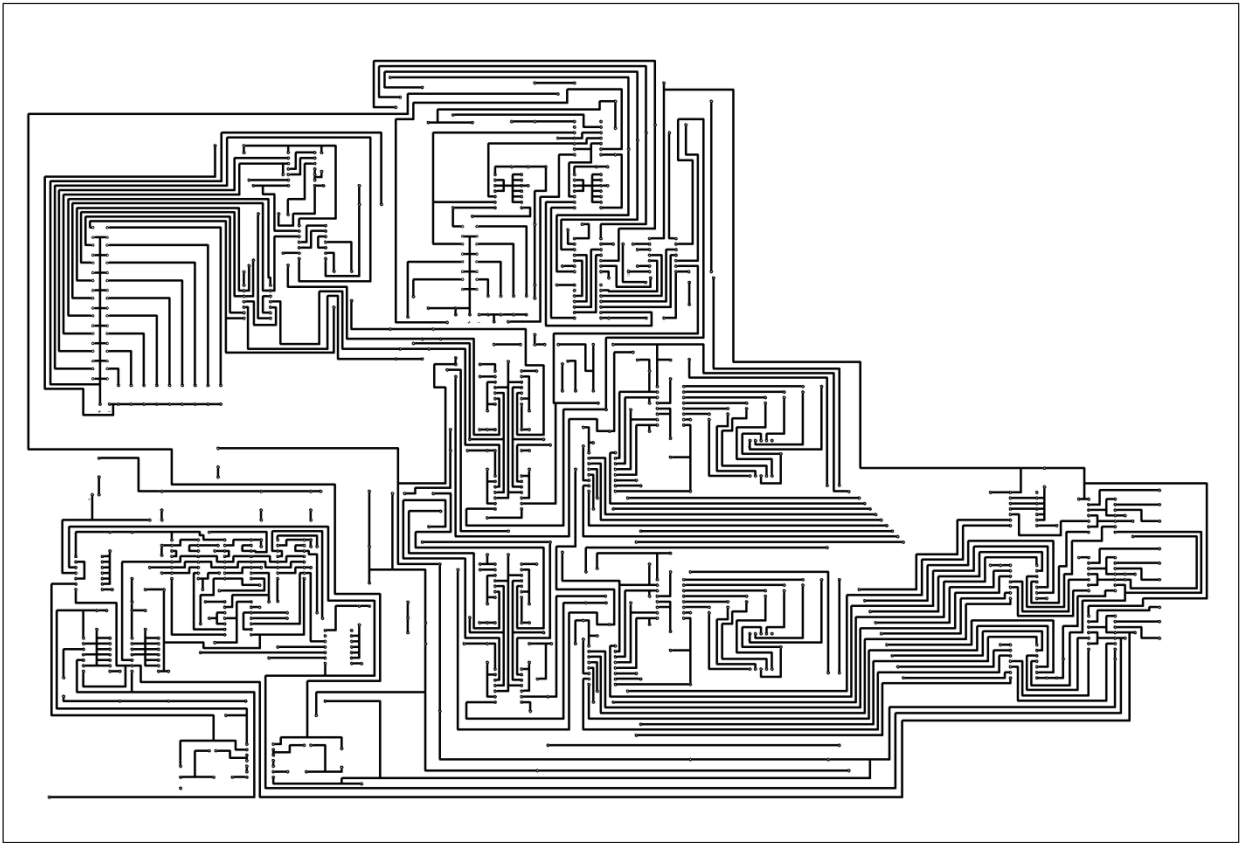


Рисунок 2.57 – Дзеркальне відображення друкованої плати мікропроцесорного пристрою приймання та оброблення інформації

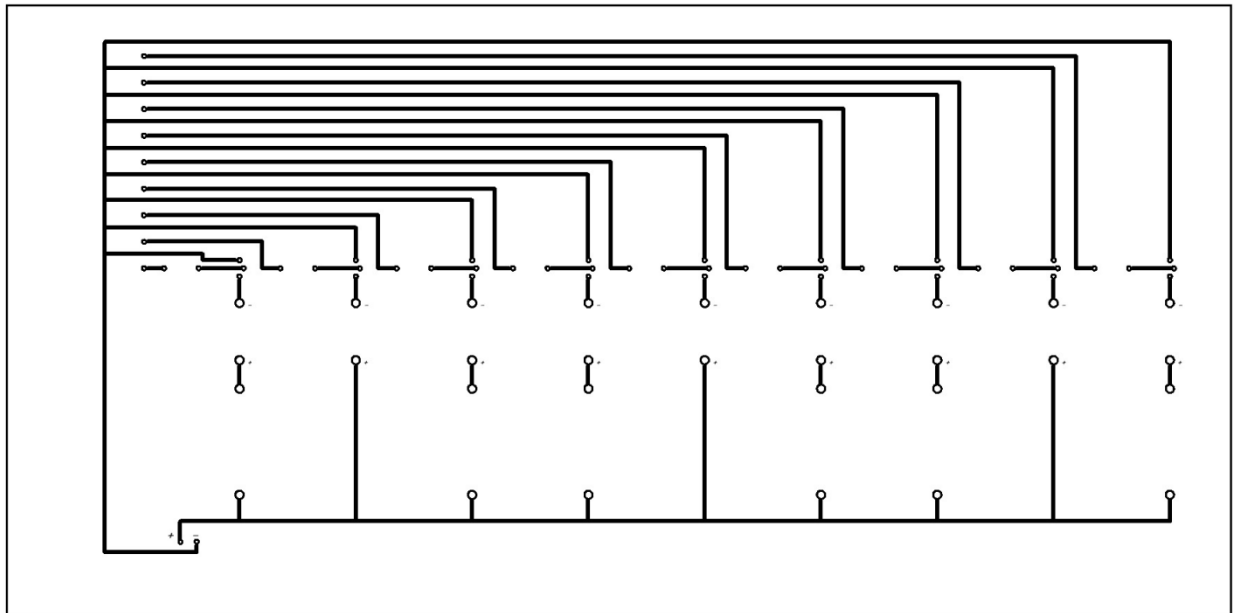


Рисунок 2.58 – Зовнішній вигляд друкованої плати комутування електричних кіл виконавчих пристроїв

Зазначимо, що лінійні розміри на кресленнях друкованих плат вказані в міліметрах (мм).

Отвори пересічних ланцюгів з однаковим номером необхідно забезпечити дротяним з'єднанням.

Отже, за результатами другого розділу можна зробити наступні висновки:

1) розроблено акустичну інформаційну систему, яка має такі складові частини: а - акустичний приймач, що являє собою пристрій перетворення звукових коливань в цифровий сигнал та призначений для безпосереднього контролювання звукового стану приміщення; б - мікропроцесрний пристрій приймання та оброблення інформації; в - схема комутування електричних кіл виконавчих пристроїв;

2) моделювання акустичного приймача із використанням операційних підсилювачів значно спростило схему, у той же час залишивши якісними показники реєстрації сигналів;

3) моделювання мікропроцесорного пристрою встановило, що більш привабливим буде використання мікросхем КМОН-логіки;

4) проведено моделювання друкованої плати комутування електричних кіл виконавчих пристроїв;

5) розраховані параметри системи добре узгоджуються із моделями основних блоків системи, які розроблено за допомогою САПР електронної техніки (Proteus, Electronics Workbench 5.12, Layout 4.0.).

### 3 Техніко – економічне обґрунтування виготовлення електронних схем мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

#### 3.1 Обґрунтування теми дипломного проєктування

Сучасний етап розвитку суспільства передбачає повсякчасне підвищення рівня науково-технічного прогресу, який полягає у створенні та застосуванні технічних засобів, призначених для звільнення людини від виконання завдань в межах повсякденного побуту, виробництва, умов надзвичайних ситуацій тощо. Впровадження таких заходів, як і більша частина природних явищ, завжди супроводжується виникненням звукових (пружних) коливань характерного частотного діапазону.

У дипломному проєктуванні забезпечення ефективності функціонування розробленого пристрою передбачає обрання належного типу мікрофона за способом виявлення звукових коливань [63].

#### 3.2 Розрахунок за методом аналізу ієрархій

Користуючись шкалою відносної важливості, проаналізуємо ієрархію найбільш поширених типів мікрофонів.

Таблиця 3.1 – Найбільш поширені типи мікрофонів за способом виявлення звукових коливань [63]

Спосіб виявлення звукових коливань		Коротке описання принципу дії
А	Динамічний	Основою конструювання такого типу мікрофона є мембрана, що з'єднана з котушкою індуктивності, яка розміщена в магнітному полі, що створюється за допомогою постійного магніту. Коливання звукового тиску, потрапляючи до мембрани, призводять до перетинання котушкою силових ліній магнітного поля та виникнення електрорушійної сили (ЕРС), що є пропорційною як до амплітуди, так і до частоти коливань мембрани.
В	Конденсаторний	Основою цього типу мікрофона є електричний конденсатор, одна з обкладок якого є нерухомою. Інша обкладка є рухомою (еластичною) та переважно являє собою полімерну плівку з нанесеною металізацією. Звукові коливання, надходячи до рухомої обкладки, спричинюють її вібрування, що призводить до змінювання ємності конденсатора та одночасного утворення електричного сигналу за умови підключення до джерела постійної напруги.
С	Електретний	Мікрофон є різновидом конденсаторного мікрофона. Принцип дії ґрунтується на здатності такого матеріалу зберігати поверхневий заряд протягом тривалого часу.

Таблиця 3.2 – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

### 3.2.1 Обґрунтування вибору критеріїв

Вибір було здійснено за такими критеріями: чутливість, рівень чутливості, внутрішній опір, робочі умови експлуатації, надійність, вартість.

Робочі умови експлуатування – здатність мікрофона контролювати звуковий стан приміщення (або охоронюваного об'єкта) за умови певних кліматичних впливів: за умови негативних або високих температур, за умови високої вологості тощо [63].

Показник надійності – середнє напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи тощо. Такі показники характеризують властивості безвідмовності та вказуються в технічній документації на мікрофони.

Вартість – один із визначальних критеріїв, що впливає на вибір способу виявлення звукових коливань в акустичному приймачі. Визначає витрати на використання певного типу мікрофона.

Описання характеристик, як-от чутливості, рівня власних завад (шумів) та внутрішнього опору мікрофона наведено в підрозділі 1.2.1.

### 3.2.2. Розрахунок глобального пріоритету для кожної альтернативи

Спочатку встановили відносну вагу кожного критерію за допомогою матриці попарних порівнянь обраних критеріїв (таблиця 3.3) [63].

У матриці прийнято такі позначення:

$i$  – номер критерію; порівнюючи шість критеріїв (таблиця 3.3),  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

$X_i$  – локальний пріоритет, тобто відносна вага  $i$ -го критерію в глобальному критерії:  $X_i = \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$ .

$\Sigma$  – сума в стовпці  $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$ .

Таблиця 3.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерії	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	$X_i$
1. Чутливість	1	3	4	7	7	6	3,902	0,473
2. Рівень власних завад	1/3	1	3	5	1/5	1/7	0,723	0,088
3. Внутрішній опір	1/4	1/3	1	1/7	1/5	2	0,410	0,050
4. Робочі умови	1/7	1/5	7	1	1/3	1/5	0,487	0,059
5. Надійність	1/7	5	5	3	1	1/7	1,074	0,130
6. Вартість	1/6	7	1/2	5	7	1	1,653	0,200
$\Sigma$							8,249	1,000

Порівняння проводили так. Відносна вага кожного критерію до самого себе дорівнює 1. Почали з критерію «Чутливість». Відносно критерію «Рівень власних завад» він має помірну перевагу (за таблицею 3.2 – оцінка 3), тому в першій строці другого стовпчика ставимо 3, а в другій строці першого

стовпчика ставимо 1/3; порівнюючи з критерієм «Внутрішній опір», він має відносно помірну перевагу (за таблицею 3.2 – оцінка 4), тому в першій строці третього стовпчика ставимо 4, а в третій строці першого стовпчика ставимо 1/4; відносно критерію «Робочі умови» він має значну перевагу (відповідно до таблиці 3.2 – оцінка 7), тому в першій строці четвертого стовпчика ставимо 7, а в четвертій строці першого стовпчика ставимо 1/7; відносно критерію «Надійність» він має значну перевагу, тому в першій строці п'ятого стовпчика ставимо 7, а в п'ятій строці першого стовпчика ставимо 1/7; порівнюючи з критерієм «Вартість» він має відносно значну перевагу (відповідно до таблиці 3.3 – оцінка 6), тому в першій строці шостого стовпчика ставимо 6, а в шостій строці першого стовпчика ставимо 1/6 [63].

Таким способом, порівнюючи кожний критерій з іншими за допомогою таблиці відносної важливості, заповнили таблицю 3.3.

Далі в кожній строці виконали множення усіх 6 значень. З отриманого добутку розрахували корінь 6-го ступеню – так заповнили стовпчик  $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$ .

Користуючись отриманими значеннями, виконали підсумовування  $\Sigma$ .

Для заповнення кожної строки стовпчика  $X_i$  використали формулу:

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}. \quad (3.1)$$

Далі аналогічно склали шість матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (таблиці 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9). Оскільки тепер порівнюємо лише три альтернативи виявлення звукових коливань за одним критерієм, то  $i = 1, 2, 3$ . Отже

$$X_i = \frac{\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}}{\sum_{i=1}^3 \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}}. \quad (3.2)$$

Зазначимо, що в цьому разі  $\Sigma$  – підсумовування в стовпці  $\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$ .



Таблиця 3.4 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Чутливість»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	1/2	1/7	0,41	0,12
B	2	1	1/2	1,59	0,45
C	7	2	1	1,52	0,43
$\Sigma$				3,52	1,00

Таблиця 3.5 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Рівень власних завод»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	1/7	1/5	0,31	0,08
B	7	1	1/2	1,52	0,38
C	5	2	1	2,15	0,54
$\Sigma$				3,98	1,00

Таблиця 3.6 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Внутрішній опір»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	1/4	1/2	0,50	0,14
B	4	1	1/4	1,00	0,29
C	2	4	1	2,00	0,57
$\Sigma$				3,50	1,00

Таблиця 3.7 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Робочі умови експлуатування»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	4	3	2,29	0,61
B	1/4	1	1/3	0,44	0,12
C	1/3	3	1	1,00	0,27
$\Sigma$				3,73	1,00

Таблиця 3.8 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Надійність»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	6	3	2,62	0,67
B	1/6	1	1/2	0,44	0,11
C	1/3	2	1	0,87	0,22
$\Sigma$				3,93	1,00

Таблиця 3.9 – Порівняння альтернатив стосовно критерію «Вартість»

Спосіб виявлення звукових коливань	A	B	C	$\sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 \omega_i}$	$X_i$
A	1	7	1/5	1,12	0,24
B	1/7	1	1/7	0,27	0,06
C	5	7	1	3,27	0,70
$\Sigma$				4,66	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи вибору способу виявлення звукових коливань обчислювали як підсумовування добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт. В таблиці 3.10 «Вага» – це значення стовпчика  $X_i$  в таблиці 4.3; строка «А» – це значення  $X_i$  таблиць 3.4 – 3.9 для альтернативи А; строка «В» – це значення  $X_i$  таблиць 3.4 – 3.9 для альтернативи В; строка «С» – це значення  $X_i$  таблиць 3.4 – 3.9 для альтернативи С [63].

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи було розраховано так.

Для альтернативи «А»:

$$A = 0,473 \times 0,12 + 0,088 \times 0,08 + 0,050 \times 0,14 + 0,059 \times 0,61 + 0,130 \times 0,67 + 0,200 \times 0,24 = 0,242. \quad (3.3)$$

Для альтернативи «В»:

$$B = 0,473 \times 0,45 + 0,088 \times 0,38 + 0,050 \times 0,29 + 0,059 \times 0,12 + 0,130 \times 0,11 + 0,200 \times 0,06 = 0,294. \quad (3.4)$$

Для альтернативи «С»:

$$C = 0,473 \times 0,43 + 0,088 \times 0,54 + 0,050 \times 0,57 + 0,059 \times 0,27 + 0,130 \times 0,22 + 0,200 \times 0,70 = 0,464. \quad (3.5)$$

Таблиця 3.10 – Глобальний пріоритет для кожної альтернативи вибору типу мікрофона за способом виявлення звукових коливань

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,473	0,088	0,050	0,059	0,130	0,200	
А	0,12	0,08	0,14	0,61	0,67	0,24	0,242
В	0,45	0,38	0,29	0,12	0,11	0,06	0,294
С	0,43	0,54	0,57	0,27	0,22	0,70	0,464

Відповідно до таблиці 3.10 найбільший глобальний пріоритет за способом виявлення звукових коливань має мікрофон електретного типу.

Висновок: за допомогою методу аналізування ієрархій Т. Сааті було проведено порівняння трьох альтернатив вибору типу мікрофона за способом виявлення звукових коливань за такими критеріями: чутливість, рівень власних завад, внутрішній опір, робочі умови експлуатування, надійність, вартість. З огляду на отримані результати в таблицях 3.4 – 3.10 можна стверджувати, що для виявлення звукових коливань мікрофони конденсаторного типу є найефективнішими, оскільки мають вищу чутливість, як порівняти з мікрофонами динамічного та електретного типу. Але істотним недоліком таких мікрофонів є висока вартість та обмеження щодо використання, зважаючи на їхню високу чутливість до кліматичних впливів. Тому в дипломному проектуванні під час розроблення акустичного приймача було вирішено застосувати мікрофон електретного типу [63].

### 3.3 Розрахунок витрат на елементи розробленого пристрою

У цьому підрозділі проведено розрахування вартості покупних виробів розробленого пристрою.

Таблиця 3.11 – Розрахування вартості покупних виробів мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

Найменування елемента	Тип	Кількість, шт.	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Діод	1N4148	1	0,50	0,50
Компаратор	LM393P	1	6,00	6,00
Конденсатор	4,7 мкФ 50В Х7R ±10%	1	14,8	14,80

Конденсатор	2,2 мкФ 50В Х7R ±10%	1	5,90	5,90
Конденсатор	К50-35 50В 2,2мкФ	1	1,80	1,80
Конденсатор	150 нФ 50В Y5V ±20%	1	2,00	2,00
Конденсатор	47 пФ 50В ±10% NPO	1	0,42	0,42
Мікросхема	К561ЛН2	1	5,00	5,00
Мікросхема	CD4011BE	1	10,00	10,00
Мікросхема	CD4012BE	1	15,30	15,30
Мікросхема	CD4013BE	5	15,20	76,00
Мікросхема	CD4027BE	3	13,40	40,20
Мікросхема	CD4028BE	2	14,10	28,20
Мікросхема	CD4030B	2	33,80	67,60
Мікросхема	CD4071BE	6	13,52	81,12
Мікросхема	CD4072BE	1	15,30	15,30
Мікросхема	CD4073BE	3	13,76	41,28
Мікросхема	CD4077BE	2	20,60	41,20
Мікросхема	CD4081BE	2	21,00	42,00
Мікросхема	CD4082BE	1	14,19	14,19
Мікросхема	CD4511BE	2	10,80	21,60
Мікрофон	«МКЕ-3»	1	30,00	30,00
Операційний підсилювач	LM358P	1	4,90	4,90
Оповіщувач звуковий	SA-103	3	113,00	339,00
Оповіщувач світловий	М-06	3	430,62	1292,86
Оповіщувач світло-звуковий	ATIS LD-95	3	132	396
Резистор	МЛТ-2 82 Ом	6	6,00	36,00
Резистор	МЛТ-0,125 220 Ом	15	0,70	10,50

Резистор	МЛТ-0,125 1 кОм	2	1,00	2,00
Резистор	МЛТ-0,125 1,3 кОм	6	1,00	6,00
Резистор	МЛТ-0,125 3,9 кОм	3	0,70	2,10
Резистор	МЛТ-0,125 10 кОм	46	1,00	46,00
Резистор	МЛТ-0,125 22 кОм	2	0,50	1,00
Резистор	МЛТ-0,125 220 кОм	1	0,60	0,60
Резистор	МЛТ-0,125 1 МОм	2	1,00	2,00
Транзистор	2N2222A	9	2,00	18,00

Висновок: відповідно до таблиці 3.11 загальна вартість покупних елементів розробленої мікропроцесорної акустивної інформаційної системи становить 2717,37 гривень. Додатково необхідно враховувати витрати на придбання стабілізованого джерела живлення (+5 В та +24 В), а також на виготовлення друкованих плат.

#### 4 Охорона праці та техногенна безпека при розробці електричних схем мікропроцесорної акустичної інформаційної системи високої спектральної чутливості

Роботи, що проводяться в дослідницькій лабораторії, не представляють великої небезпеки, оскільки приміщення інженерної академії належать до приміщень без підвищеної небезпеки. Проте вживання електроустаткування може нести в собі ряд шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людей чинників, що працюють з ним. Основну небезпеку дослідницької лабораторії представляють використання електроприладів, які працюють при напрузі небезпечній для життя.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний характер. Проходячи через організм, електричний струм виробляє термічну, електролітичну і біологічну дію [64].

Міра небезпечної і шкідливої дії на людину електричного струму і електричної дуги залежить від роду і величини напруги струму, частоти струму, шляху струму через тіло організму, тривалість дії електричного струму, умов зовнішнього середовища.

У дослідницькій лабораторії існує можливість виникнення небезпеки при роботі з шкідливими речовинами в процесі моделювання плати пристрою. При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу мікросхеми, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нирково-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

При недостатній освітленості на робочому місці може виникнути зорова втома.

#### 4.1 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Тривала робота перед екраном монітора наводить до різних функціональних розладів організму, не говорячи вже про неймовірне навантаження на очі. Захворювання, викликані травмою навантажень, що повторюються, не виявляються відразу, це нездужання, що поступово накопичуються. У цьому їх небезпека. В основному страждають кисті, зап'ястя, плечі, шийна область [65].

У виникненні хвороб такого роду найчастіше винні: погана ергономіка робочих місць, дуже високо розташована клавіатура, непідходяще крісло, незнання основних правил роботи за комп'ютером. Правила, що стосуються освітлення в приміщенні і на робочому місці, мікроклімату, розташування клавіатури прості:

- повна тривалість робочого часу, проведеного за екраном монітора із захисним екраном, для дорослого користувача не повинна перевищувати 4 години за 8-годинний робочий день;

- не рекомендується працювати на клавіатурі безперервно більше 30 хвилин, кожну годину необхідно робити п'ятихвилинну перерву, а кожні дві години - 15-хвилинний, причому краще покинути робоче місце, влаштувати розминку для пальців, зробити просту гімнастику для очей;

- для устаткування робочого місця краще використовувати спеціальні столи і стільці, що дають можливість регулювати положення всіх вузлів, - висоти столу, полички для клавіатури, крісла користувача;

- висоту клавіатури слід відрегулювати так, щоб кисть розташовувалася прямо;



- спина має бути пряма, кут між стегнами і хребтом - теж прямий, для чого слід підібрати таке крісло, спинка якого здатна підтримувати спину користувача.

- монітор слід розташувати так, щоб нижній рівень екрану знаходився на 20...25 см нижче за рівень очей, а рівень верхньої кромки розташовувався на висоті лоба, від екрану монітора до очей має бути не менше 75...120 см.

- відстань між столами з комп'ютерами - не менше 1,5 метрів, між моніторами - не менше 2,2 метрів.

- екран комп'ютера краще розташувати під прямим кутом по відношенню до вікон, які необхідно завісити або закрити жалюзі.

#### 4.2 Виробнича санітарія

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є допоміжною, температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робітниках повинні відповідати санітарним нормам мікроклімату виробничих приміщень, що діють [64].

У виробничих приміщеннях, в яких робота на відеотерміналах і персональних комп'ютерах є основною (диспетчерські, операторські, розрахункові, кабінети і пости управління, зали обчислювальної техніки і ін.) повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Оптимальні норми мікроклімату для приміщень з відео-терміналами і персональними комп'ютерами

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С (не більше)	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка – 1а	22-24	40-60	0.1
	Легка – 1б	21-23	40-60	0.1
Теплий	Легка – 1а	23-25	40-60	0.1
	Легка – 1б	22-24	40-60	0.2

До категорії 1а відносяться роботи, вироблювані сидячи і що не вимагають фізичної напруги, при яких витрата енергії складає до 120 ккал/ч. До категорії 1б відносяться роботи, вироблювані сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою і такі, що супроводжуються деякою фізичною напругою, при яких витрата енергії складає від 120 до 150 ккал/ч

При монтажі компонентів на плату і формуванні топологічного рисунка струмопровідного шару виникає потенційна небезпека небажаної дії на організм речовин, що обертаються в технологічному процесі, і матеріалів. Всі речовини, що забруднюють повітря, надають шкідливу дію, якщо вони потрапляють в організм в кількостях, що перевищують деяку порогову величину (ГДК). У виробництві плат застосовують певні речовини, які шкідливі для організму. Клас небезпеки шкідливих речовин встановлюється залежно від гранично допустимої концентрації речовин в повітрі робочої зони. Це та концентрація яка переноситься без відхилень від нормального полягання в перебігу робочого дня при щоденному диханні. Згідно СН 245-71 встановлюють чотири класи шкідливих речовин: 1-й клас – речовини надзвичайно небезпечні; 2-й клас – речовини високо небезпечні; 3-й клас – речовини помірно небезпечні; 4-й клас – речовини мало небезпечні. Дія токсичних речовин виявляється в гострих і хронічних отруєннях.

При монтажі електронних плат застосовують ацетон, спирт для знежирення і очищення від пилу, а також олово і каніфоль для припаювання ніжок напівпровідникового приладу до плати.

У таблиці 4.2 [66] приведені гранично допустимі концентрації небезпечних речовин, вживаних при монтажі елементів, згідно СН 245-71.

Таблиця 4.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Ацетон	30
Каніфоль	150
Олово	90
Спирт	1000

Спирт, ацетон викликає сухість шкіри. При систематичному вдиханні можливі захворювання сітківки ока. Також можливі нервово-психічні захворювання.

Каніфоль дратівливо діє на слизисті оболонки дихальних шляхів і на шкіру, що наводить до дерматитів.

Основні засоби техніки безпеки – герметизація апаратури і устаткування, наявність припливної витяжної вентиляції в приміщенні проведення робіт і витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням (рис. 4.1).

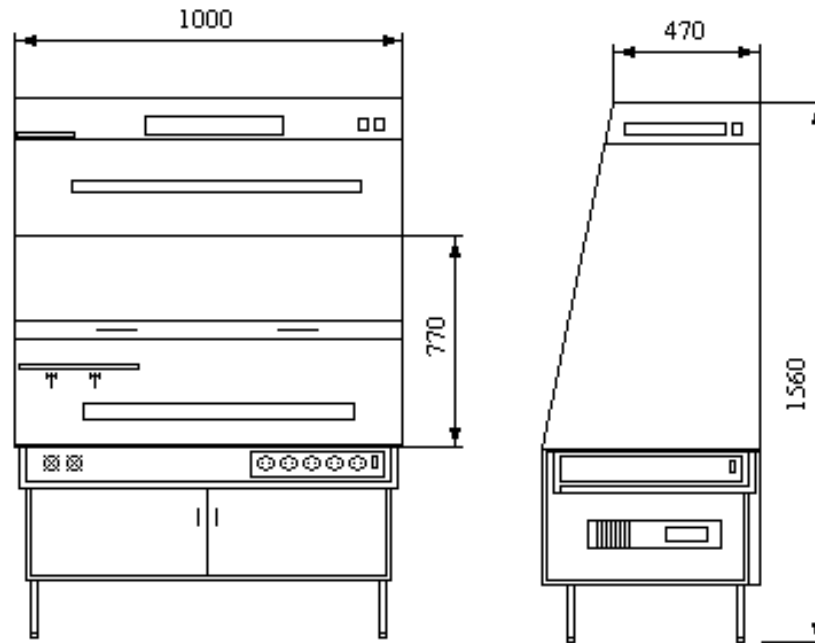


Рисунок 4.1 – Витяжна шафа для проведення експериментальних досліджень, виготовлення печатних плат і монтажу компонентів паянням

### 4.3 Електробезпека

Дія електричного струму на організм людини може бути теплова, хімічна і біологічна. При дії електричного струму на організм людини можуть бути два види поразки: електричні удари і електричні травми. Часто ці види супроводять один одному [66].

Захистом від дотику до струмопровідних частин електроустановок є ізоляція дротів, обгороджування, блокування і захисні засоби. Захистом від напруги, що з'явилася на корпусах електроустановок в результаті порушення ізоляції, є захисне заземлення, занулення і захисне відключення.

Захисне заземлення влаштовується в мережах з ізольованою нейтраллю. Воно є навмисним з'єднанням із землею неструмопровідних металевих частин електроустановок.

Захисне заземлення необхідне для зниження напруги відносно землі до безпечної величини на металевих корпусах електроустановок, що нормально не знаходяться під напругою, але що виявилися під таким в результаті пошкодження ізоляції.

При зниженні напруги на корпусах відносно землі струм, що проходить через людину, що стосується корпусу, знижується до безпечної величини (10 мА).

На ділянці проведення експерименту в лабораторії застосовується електроустаткування до 220 В. Електроживлення здійснюється від розподільних щитів за допомогою комутуючих автоматів, що виробляють захист того або іншого об'єкту.

Приміщення відноситься до приміщень без підвищеної безпеки.

Відповідно до ПЗП приміщення лабораторії відносять до класу по пожежобезпеці П-11 а. Міра захисту електроустаткування 1 Р44.

Прокладка сполучних дротів здійснюється в трубах, що забезпечує надійний захист від механічних пошкоджень дротів [66].

#### 4.4 Пожежна безпека та техногенна безпека

Приміщення, де виробляється травлення печатних плат, відноситься до вибухонебезпечного, оскільки водень, що виділяється при травленні, з атмосферним киснем утворює вибухонебезпечну суміш. Проте це може статися лише при відключенні вентиляції, тобто при аваріях. Отже, приміщення відноситься до класу В-Іа. По мірі пожежної безпеки дане виробництво згідно СНіП 11-90-81 може бути віднесене до категорії Д, оскільки характеризується наявністю речовин, що лише не згорають, і матеріалів в холодному стані [64].

Характерними причинами виникнення пожеж в лабораторії є необережне поводження з вогнем, порушення технологічних процесів, неправильні

електропроводки і устаткування, неправильне користування електричними приладами і ін.

Основні будівельні конструкції будівлі, в якій знаходиться лабораторія, виконані з тих, що не згорають і важко згорають матеріалів, що цегельних і виштукатурюють. Отже, вогнестійкість будівлі має 2 рівень. Для евакуації людей на випадок пожежі, згідно СНіП 11-90-81, в лабораторії є два евакуаційні виходи, розташованих в протилежних кінцях приміщення ділянки. Ширина дверей і сходів рівна 1,6 м, що відповідає нормі.

Відстань від найбільш видаленого робочого місця до найближчого виходу – 15 м. Швидкість просування людей при евакуації – 16 м/хв [66].

Згідно ПУЕ, будівля, в якій знаходиться лабораторія по захисту від блискавки, відноситься до категорії С і захищається від прямих ударів блискавок, і від занесення високих потенціалів через землю, тобто підземні металеві комунікації, їх приєднують при введенні в захищуєний об'єкт до заземлення електроустаткування. Отже, грозозахист засновано на стержневих громовідводах.

Для попередження пожеж в лабораторії необхідно створити строгий протипожежний режим. Створюється загально об'єктова і лабораторна інструкція по ПБ, проводиться первинний протипожежний інструктаж при на робочому місці; створюється план протипожежних заходів і евакуації людей на випадок пожежі.

Як вогнегасні речовини можна застосовувати воду, вуглекислоту, хімічну і повітряно-механічну піну. Для гасіння вогнищ усередині будівлі на майданчиках сходових кліток, в коридорах і отворі встановлюють пожежні крани, які розміщені в шафках, де знаходиться і рукав з протипожежним стволом. Для гасіння пожежі горючих матеріалів, що починається, а також горючих рідин використовується ручний пінний вогнегасник ОХП-10. Для гасіння пожеж електроустановок використовується вуглекислий вогнегасник ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, в кількості двох вогнегасників на кожну установку. Існують пожежна електрична сигналізація, яка забезпечує прямий зв'язок пожеж-

ної охорони з охоронним об'єктом. У даній будівлі застосовують звукову систему сигналізації.

Визначимо технічні і організаційні заходи в лабораторії того, що труїть печатних плат. До технічних заходів відносяться протипожежні заходи, вживані в лабораторії:

- територію лабораторії необхідно постійно містити в чистоті, горюче сміття повинне систематично віддалятися на спеціально відведені ділянки і у міру накопичення вивозитися;

- всі струмопровідні частини, розподільні пристрої, рубильники і інші пускові апарати вмонтовуються на негорючих підставах (мармур, текстоліт, гетинакс, азбест, і тому подібне);

- вимір опору ізоляції електромережі проводиться не рідше два раз на рік. Несправні ділянки знеструмлюються і замінюються новими;

- вся електрична апаратура, встановлена в лабораторії, виконується вибухозахищеною;

- для усунення можливості проникнення пари і газів з цеху в сусідні приміщення виводи дротів крізь стіни робляться із застосуванням фарфорових трубок, отвори яких закриваються кислотностійкою мастикою;

- куріння в приміщенні строго забороняється;

- на випадок виникнення пожежі необхідно передбачити можливість евакуації людей. Евакуаційні дороги повинні забезпечувати евакуацію всіх людей, що знаходяться в приміщенні лабораторії протягом необхідного часу. Число евакуаційних доріг не менше два. Кількість та розміри евакуаційних виходів з будівель і приміщень, їхні конструктивні й планувальні рішення, умови освітленості, забезпечення незадимленості, протяжність шляхів евакуації, їх облицювання (оздоблення) повинні відповідати протипожежним вимогам будівельних норм.

- евакуаційні шляхи і виходи повинні утримуватися вільними, нічим не захащуватися і в разі виникнення надзвичайної ситуації забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівель

та споруд, двері на дорогах евакуації навішуються так, щоб відкривалися по напрямленню виходу з будівлі;

- мінімальна ширина дверей на дорогах евакуації не менше 0,8 м;
- висота переходу на дорогах евакуації не менше 2 м;
- пристрій гвинтових сходів і змінних рівнів на дорогах евакуації не допускається;
- схема евакуації людей ретельно розробляється і вивіщується на видних місцях;
- весь трудовий колектив проходить навчання заходам пожежної безпеки.
- у разі розміщення технологічного, експозиційного та іншого обладнання в приміщеннях повинні бути забезпечені евакуаційні проходи до сходових кліток та інших шляхів евакуації відповідно до будівельних норм.

Не допускається:

- влаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети, розсувні, підйомні двері, такі двері, що обертаються, та інші пристрої, які перешкоджають вільній евакуації людей;
- захащувати шляхи евакуації (коридори, проходи, сходові марші і площадки, вестибюлі, холи, тамбури тощо) меблями, обладнанням, різними матеріалами та готовою продукцією, навіть якщо вони не зменшують нормативну ширину;
- забивати, заварювати, замикати на навісні замки, болтові з'єднання та інші запори, що важко відчиняються зсередини, зовнішні евакуаційні двері будівель;

Для оптимального здійснення евакуації з будівель та споруд різного призначення створюються відповідні комісії. Вони скеровуються з Міністерства з надзвичайних ситуацій України.

Основними завданнями комісій з евакуації відповідних суб'єктів господарської діяльності є: розроблення планів евакуації, на випадок виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру; організація та



проведення у евакуації; установи чи організації щодо забезпечення проведення евакозаходів; визначення основних напрямів роботи щодо проведення евакозаходів; підготовка і перепідготовка особового складу евакокомісії.

Забезпечення техногенної безпеки є складовою частиною виробничої та іншої діяльності суб'єктів господарювання. Забезпечення техногенної безпеки покладається на відповідних посадових осіб, керівників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними нормативно-правовими або цивільно-правовими актами. Заходи щодо забезпечення техногенної безпеки враховуються органами архітектури, замовниками, забудовниками, проектними та будівельними організаціями при проектуванні та забудові населених пунктів, будівництві, розширенні, реконструкції та технічному переоснащенні потенційно небезпечних об'єктів, установ та організацій.

Відповідні заходи, які обумовлюють стан захищеності населення і об'єктів від негативних наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру, повинні виконуватись як окремі розділи або визначатись у розділах інженерно-технічних заходів цивільного захисту та техногенної безпеки до проектів планування та забудови проектів (робочих проектів) ПНО або ОПН, їх будівель та споруд, погоджених зі спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань цивільного захисту і затверджених у порядку, установленому спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань будівництва і архітектури.

#### 4.5 Розрахунок електромагнітного випромінювання від моніторів в приміщенні лабораторії

При роботі з ЕОМ на електронно-променевої трубі накопичується статичний заряд. Особливо великий його вплив у момент включення і виключення. При цьому напруженість поля інтенсивно зростає до максимуму, а потім з часом зменшується до умовної стабілізації.

Величина електростатичного поля визначається за формулою [65]:

$$E = \frac{(V_E + V_K)}{r} \quad (4.1)$$

де –  $E$  – напруженість електростатичного поля,  $V_E$  – потенціал екрану,  $V_K$  – потенціал користувача,  $r$  – відстань до монітора.

Згідно з [4], розраховуємо напруженість електростатичного поля при  $V_E=11$  кВ,  $V_K=0,9$  кВ на відстані від 0,3 м до 0,7 м.

Розрахунки виконано за допомогою редактора Microsoft Excel. В таблиці 3.3 представлено результати розрахунку залежності напруженості електростатичного поля  $E$  від відстані до монітора  $r$

Таблиця 4.3 – Залежність напруженості електростатичного поля  $E$  від відстані до монітора  $r$

№ п/п	$E$ , кВ/м	$r$ , м
1	39,67	0,3
2	29,75	0,4
3	23,80	0,5
4	19,83	0,6
5	17,00	0,7

Побудуємо залежність напруженості електростатичного поля від відстані до монітора (рис. 4.2)

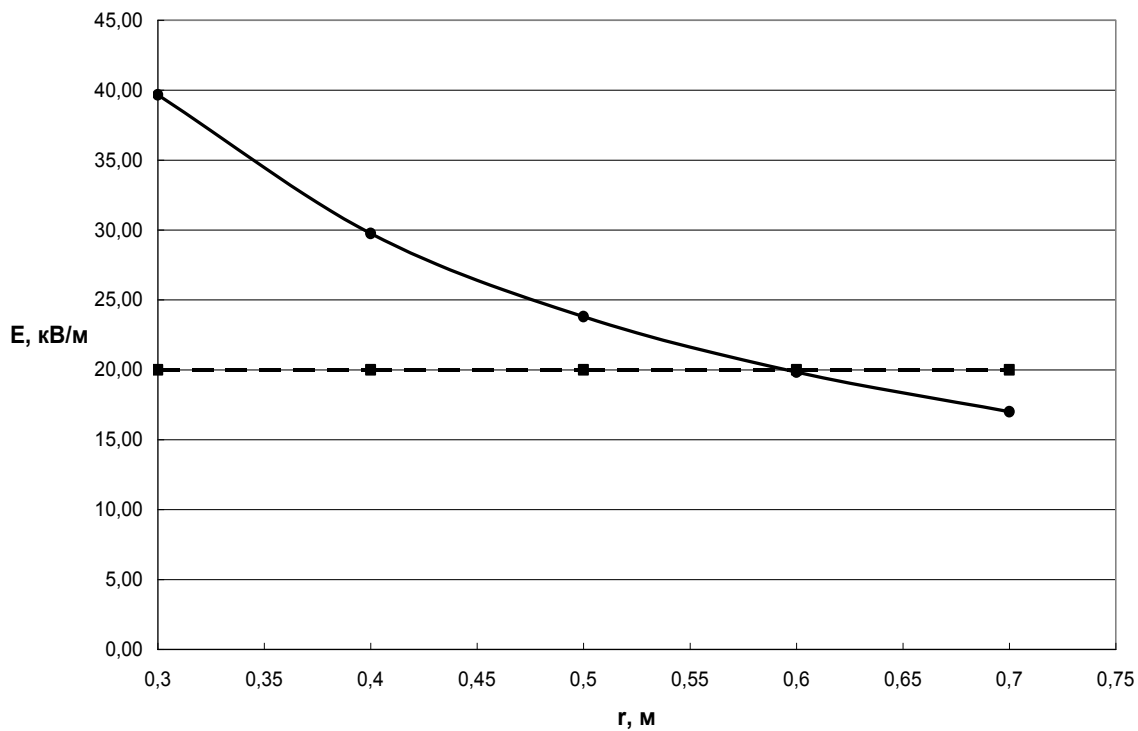


Рисунок 4.2 – Залежність напруженості електростатичного поля від відстані до монітора

Згідно з [65], допустимі рівні напруженості електростатичних полів не повинні перевищувати 20 кВ/м протягом години.

За результатами розрахунку визначено за допомогою графічної залежності, що допустима відстань від монітора не повинна бути менше, ніж 0,6 м.

## Висновки та рекомендації

Отже, за результатами роботи можна зробити наступні висновки:

1) розроблено акустичну інформаційну систему, яка має такі складові частини: а - акустичний приймач, що являє собою пристрій перетворення звукових коливань в цифровий сигнал та призначений для безпосереднього контролювання звукового стану приміщення; б - мікропроцесрний пристрій приймання та оброблення інформації; в - схема комутування електричних кіл виконавчих пристроїв;

2) моделювання акустичного приймача із використанням операційних підсилювачів значно спростило схему, у той же час залишивши якісними показники реєстрації сигналів;

3) моделювання мікропроцесорного пристрою встановило, що більш привабливим буде використання мікросхем КМОН-логіки;

4) проведено моделювання друкованої плати комутування електричних кіл виконавчих пристроїв;

5) розраховані параметри системи добре узгоджуються із моделями основних блоків системи, які розроблено за допомогою САПР електронної техніки (Proteus, Electronics Workbench 5.12, Layout 4.0.).

Як рекомендації щодо розроблюваного пристрою можна відмітити наступне:

1) система може бути використана в подальших розробках інтелектуальних систем із акустичним керуванням;

2) макетний варіант системи може бути використаний в лабораторному практикумі та при проведенні практичних занять кафедри електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення.

## Перелік посилань

1. Абракітов В. Е. Багаторазові відбиття звуку в акустичних розрахунках: монографія. Харків: ХНАМГ, 2007. 416 с.
2. Авдеєнко Г. Л. «Технології радіо- та телевізійного мовлення». Частина 1 «Технології радіомовлення»: конспект лекцій для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» спеціалізації «Інженерія та програмування інфокомунікацій». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 404 с.
3. Аксенова О. Т. Промышленная акустика: учебное пособие / Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011. 132 с.
4. Алдошина И. А., Войшвилло А. Г. Высококачественные акустические системы и излучатели. Москва: Радио и связь, 1985. 168 с.
5. Апасов А. М. Исследование сигналов акустической эмиссии при статическом нагружении плоских образцов из высокочастотной стали. Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. №2. С. 32 – 41.
6. Апікова А. Є. Аналіз акустичних методів діагностики бронхолегеневих захворювань. Східноєвропейський журнал внутрішньої та сімейної медицини. 2016. №2. С. 105–109.
7. Апікова А. Є., Клименко В. А., Федотов Д. О., Яновська К. О. Система реалізації метода діагностики пневмоній пасивною ехолокацією. Медична інформатика та інженерія. 2016. №3. С. 69–75.
8. Бабченко О. В., Заруюїєва Ю. С., Румбешта В. О. Ефективний метод контролю виробів з композитного матеріалу, кераміки та пружних елементів. Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. №43. 2012. С. 106–111.
9. Ващишак С. П., Цих В. С., Яворський А. В. Проблеми безконтактного виявлення та ідентифікації дефектів підземних нафтогазопроводів з поверхні землі. Науковий вісник Івано-франківського

національного технічного університету нафти і газу. №3(29). 2011. С. 104–111.

10. Воронкин А. С. Линейные колебания и волны: Введение в акустику: уч. пособ. / коммунальное учреждение «Луганская областная малая академия наук учащейся молодежи». Луганськ: СПД Резніков В. С., 2012. 224 с.

11. Галінський О. М., Марчук С. А. Оцінка якості улаштування підземних виїмок та паль з використанням неруйнівних методів ультразвукового та акустичного контролю. Нові технології в будівництві. 2011. №1(21). С. 43 – 47.

12. Голод О. С., Львов К. П. Многолучевой эхолот на современной элементной базе. Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). №6. 2009. С. 89–97.

13. Гончар А. І. Концепція розвитку гідроакустики в Україні. Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану). 2006. №3. С. 5–16.

14. Гошовський С. В., Сиротенко П. Т. Сучасне оснащення морських геолого-геофізичних досліджень. Стаття 1. Збірник наукових праць УкрДГРІ. Київ, 2017. № 1–2. С. 178–195. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/UDGRI\\_2017\\_1-2\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/UDGRI_2017_1-2_14) (дата звернення: 05.04.2022).

15. Гошовський С. В., Сиротенко П. Т. Сучасне оснащення морських геолого-геофізичних досліджень. Стаття 2. Збірник наукових праць УкрДГРІ. Київ, 2017. № 3. С. 57–73. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/UDGRI\\_2017\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/UDGRI_2017_3_7) (дата звернення: 07.04.2022).

16. Гребінь О. П., Левенець Н. Ф., Швайченко В. Б. Прикладна електроакустика – 1. Електроакустика: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізації «Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 145 с.

17. Гребінь О. П., Левенець Н. Ф. Прикладна акустика – 2. Архітектурна акустика. Лабораторний практикум: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка», спеціалізацій «Електронні та інформаційні системи і технології телебачення, кінематографії та звукотехніки», «Електронні та інформаційні технології кінематографії та аудіовізуальних систем», «Електронні засоби Інтернету речей та систем відеоспостереження» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 101 с.

18. Грінченко В. Т., Вовк І. В., Маципура В. Основи акустики: навчальний посібник. Київ: Наукова думка, 2007. 640 с.

19. Денисов Е. Ю., Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В., Элбакидзе А. В. Разработка и результаты испытаний гидроакустического комплекса для исследования дна шельфовой зоны Арктических морей. Журнал радиоэлектроники ISSN 1684-1719. №11. 2016. С. 1–12.

20. Детективне агенство «Холмс»: каталог спецтехніки. URL: <https://holms.te.ua/files/holms.pdf?v=8> (дата звернення: 25.03.2022).

21. Дерепя А. В., Кочарян О. О., Лейко О. Г. Акустичні особливості інформаційної гідроакустичної системи «морське середовище-надводний корабель-гідроакустична станція» та можливості впливу на неї. Озброєння та військова техніка. №2(14). 2017. С. 66–76.

22. Дідух В. Д. Біологічна фізика з фізичними методами аналізу: навч. посіб. / В. Д. Дідух, Ю. А. Рудяк, О. А. Багрій-Заяць. Тернопіль, 2021. 305 с.

23. Драганчук В. М. Музична психологія і терапія: навч. посіб. для студ. спец. «Музичне мистецтво» / Східноєвр. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2016. 230 с.

24. Ермолов И. Н., Алешин Н. П., Потапов А. И. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: Практик. Пособие / под ред. В. В. Сухорукова. М.: Высш. шк., 1991. 283 с.

25. Єсаулов С. М. Формування інформаційних сигналів. Діагностичні комплекси: конспект лекцій для студентів денної та заочної форми навчання освітнього рівня «магістр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків, 2019. С. 42–44.

26. Журнал русского географического общества «Вокруг света»: слуховой аппарат. URL: <https://www.vokrugsveta.ru/vs/article/187/> (дата звернення: 05.04.2022).

27. Інститут фізики НАН України: фотоакустичний мікроскоп. URL: <http://www.iop.kiev.ua/ua/fotoakustichnij-mkroskop/> (дата звернення: 19.03.2022).

28. Ковалевський С. В., Ковалевська О. С. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу): монографія. Краматорськ: ДДМА, 2017. 110 с.

29. Корякін О. О. Основи музичної акустики: конспект лекцій. Суми: ФОП Цьома С. П., 2021. 132 с.

30. Клемина А. В. Акустическая интерферометрия биологических жидкостей для медицинской лабораторной диагностики: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.06. Нижний Новгород, 2010. 18 с.

31. Ластівка Г. І., Шпатар П. М. Технічний захист інформації в інформаційних та телекомунікаційних системах: Навчальний посібник. Чернівці: Чернівецький національний університет. 2018. 252 С.

32. Лепіх Я. І. Пристрої на ПАХ з керованими характеристиками. Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. 2019. Том №16. Випуск №2. С. 43–52.

33. Луньова С. А. Електроакустика: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Акустичні електронні системи та технології обробки акустичної інформації» спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 161 с.



34. Левтеров О. А. Розробка математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій унаслідок пожежі з осередком виникнення зовні потенційно-небезпечного об'єкту. Комунальне господарство міст. 2019. Том №6. Випуск № 152. С. 233–238.

35. Мельник В. М. Зменшення впливу звукових полів на похибки поплавкового гіроскопа. Вісник ЖІТІ. 2002. №4(23). С. 111–115.

36. Миндюк В. Б., Рибіцький І. В., Чабан Н. І. Розвиток акустичного виду контролю для виявлення та оцінювання структурних змін сталевих конструкцій. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2018. №3(68). С. 27–30.

37. Найда С. А., Желяскова Т. М. Медичні та біоакустичні прилади та системи: підруч. Київ: КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2017. 269 с.

38. Озгович А. І., Панчук О. Методи і засоби вимірювання температури. Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий науково-технічний збірник. №78. 2017. С. 34–41.

39. ООО «Компания Трансэнерго-Ком»: Технические характеристики электросирены С-40. URL: <https://ktek.com.ua/p515507005-sirena-s40.html> (дата звернення: 29.03.2022).

40. Олар О. І., Микитюк О. Ю., Федів В. І. Сучасні методи мікроскопії в біології і медицині. Клінічна та експериментальна патологія. Том XIII. №2(48). 2014. С. 212–217.

41. Опанасюк Н. М. Конспект лекцій з дисципліни «МІКРОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ». Суми: Сумський державний університет, 2013. 177 с.

42. ООО «ПРОМСИГНАЛ»: Технические характеристики электросирены С-40С. URL: <https://promsignal.com/products/sirena-s-40-s> (дата звернення: 27.03.2022).

43. Пиндус Ю. І., Заверуха Р. Р. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ, 2016. 209 с.

44. Поверхностные акустические волны: Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/physics/text/3147759> (дата звернення: 18.04.2022).
45. Русаков И. Г. Импеданс акустический // Большая Советская Энциклопедия М.: «Советская энциклопедия», 1969–1978.
46. Свет В. Д. Визуализация звукового поля. Большая российская энциклопедия. Том 5. Москва, 2006. 301 с.
47. Сташук П. М. Дослідження акустичної емісії під час електрохімічної корозії арматури залізобетонних конструкцій. С. 246–252. Дороги і мости: збірник наукових праць. 2008. №8. С. 246–252.
48. Сташук П. М., Танський О. В. Дослідження рамної прогонової будови нового автодорожнього моста з використанням методу акустичної емісії. Дороги і мости: збірник наукових праць. 2008. № 9. С. 248–253.
49. Скальський В. Р., Станкевич О. М., Клим Б. П. Особливості програмного забезпечення акустико-емісійних засобів діагностування (Огляд. Повідомлення 1). Техническая диагностика и неразрушающий контроль. №3. 2010. С. 5–13.
50. Сливка Л. В. Музикотерапія в освітньому процесі: історичне і теоретичне підґрунтя. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». №37. 2015. С. 164–166.
51. Химунин А. С. Интерферометр акустический. Большая российская энциклопедия. Том 11. Москва, 2008. 466 с.
52. Шарко А. О. Особливості апаратного забезпечення акустико-емісійних засобів діагностування. Вісник ХНТУ. №4(63). 2017. С. 135–140.
53. Утгоф В. Говорит и показывает ультразвук: метод акустической микроскопии. Производство электроники. №6. 2019. С. 112–115.
54. Бирюков С. А. Применение цифровых микросхем серий ТТЛ и КМОП. 2-е изд., стер. Москва: ДМК, 2000. 240 с.

55. ДСТУ 4030-2001. Системи тривожної сигналізації. Системи охоронного призначення. Позначення умовні графічні та літерні. [Чинний від 2002-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2001. 15 с.

56. Компания «ЧИП и ДИП»: Технические параметры микрофона МКЭ-3. URL: <https://www.chipdip.ru/product/mke-3> (дата звернення: 23.10.2022).

57. Компания «ATIS (Advanced Technologies In Security – Передовые технологии в сфере оборудования по безопасности)»: Технические характеристики оповещателя свето-звукового LD-95 (red). URL: <https://www.bezpeka-shop.com/download/manuals/atis-svetozvukovoy-opoveshchatel-ld95-red-manual-ru.pdf> (дата звернення: 20.09.2022).

58. Компания «Secur Ltd»: Технические характеристики сирены ATIS SA-103. URL: <https://secur.ua/sirena-atis-sa-103-white.html> (дата звернення: 20.09.2022).

59. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Теорія електричних кіл та сигналів», частина 1 для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / уклад.: Є. В. Оргенич, І. Є. Поспесєва. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. 70 с.

60. Мікропроцесорна техніка. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи для студентів ЗДІА напряму 6.050801 «Мікро та наноелектроніка» / уклад.: Є. Я. Швець, Л. Л. Верьовкін, М. В. Світанько. Запоріжжя: ЗДІА, 2011. 62 с.

61. Приватне підприємство «СенКо»: Технические характеристики оповещателя светового «СОЛО» М-06. URL: <https://senko.com.ua/products/opoveshchatel-svetovoy-m-06> (дата звернення: 19.09.2022).

62. Цифрова схемотехніка. Підручник для студентів технічних вузів і коледжів / уклад.: Л. Л. Верьовкін, М. В. Світанько, Є. М. Кісельов, С. Л. Хрипко. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 214 с.

63. Белуха М.Т. Основи наукових досліджень / Белуха М.Т. Київ : Вища шк., 1997. 271с.

64. Бегун В. В., Науменко І. М. Безпека життєдіяльності : Навч. посібник. Київ : МОНУ, 2004. – 328 с.

65. Охорона праці. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання контрольних робіт для студентів ЗДІА інженерних спеціальностей / Укл. В. Г. Рижков Запоріжжя, 2005. 43 с.

66. Безпека життєдіяльності. Методичні вказівки до практичних занять та контрольні завдання для студентів ЗДІА всіх спеціальностей денної та заочної форм навчання / Укл. В. Г. Рижков. Запоріжжя, 2005. 24 с.

**«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Науково-дослідна частина  
Наукове товариство  
студентів, аспірантів, докторантів  
Рада молодих вчених

**ЗБІРНИК**  
наукових праць студентів,  
аспірантів, докторантів і молодих вчених

**«МОЛОДА НАУКА-2022»**

**Том V**

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні  
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя  
2022

2022=УДК: 001 (06)

М 754

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Фролов М.О.** – ректор ЗНУ;

**Васильчук Г.М.** – проректор з наукової роботи;

**Блоконь К.В.** – заступник директора з наукової діяльності Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ;

**Болдуєва О.В.** – начальник науково-дослідної частини;

**Грушева Т.В.** – заступник декана з наукової роботи історичного факультету;

**Дерев'янюк Ю.М.** – заступник декана з наукової роботи факультету іноземної філології;

**Зубцова Ю.Є.** – заступник декана з наукової роботи факультету соціальної педагогіки та психології;

**Караулова С.І.** – заступник декана з наукової роботи факультету фізичного виховання, здоров'я та туризму;

**Ковпак В.А.** – заступник декана з наукової роботи факультету журналістики;

**Копійка В.В.** – заступник декана з наукової роботи біологічного факультету;

**Леонтьєва В.В.** – заступник декана з наукової роботи математичного факультету;

**Лепська Н.В.** – заступник декана з наукової роботи факультету соціології та управління;

**Липенко А.В.** – заступник декана з наукової роботи економічного факультету;

**Меркулова О.В.** – заступник декана з наукової роботи філологічного факультету;

**Носик М.О.** – відповідальний за наукову роботу ВСП «Економіко-правничого фахового коледжу ЗНУ»;

**Олійник О.Л.** – директор ВСП «Фахового коледжу бізнесу та харчових технологій ЗНУ»;

**Олійник О.М.** – заступник декана з наукової роботи факультету менеджменту;

**Пелех І.В.** – заступник декана з наукової роботи юридичного факультету;

**Руднік О.Р.** – голова НТ САД ЗНУ;

**Чопоров С.В.** – голова РМВ ЗНУ.

*Збірник укладено за результатами XV університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2022», що проходила 18-22 квітня 2022 року.*

*Автори публікацій несуть відповідальність за достовірність фактичних даних, чіткість викладу тексту, цитування, а також мовно-стилістичний рівень написання матеріалів.*

Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2022» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2022. – Т.5. – 262 с.

УДК: 001 (06)

М 754

©Запорізький національний університет, 2022

©Автори публікацій, 2022

Сигнал, що знімається, відображує розподілену електричну реакцію на сітківці на біоелектричне збудження.

Програма, по якій повинен працювати вимірювальний модуль повинна представляти систему, яка працює в асинхронному режимі, тобто під зовнішньою дією (команди), система переходить з одного режиму в інший. Такими діями служать зовнішні і внутрішні події, а їх реалізацією служать переривання мікроконтролера.

Розроблений пристрій для проведення додаткової діагностики аналізу ретинальної гостроти зору і різних захворювань сітківки, зручніший в порівнянні з існуючими аналогами, оскільки має виведення інформації на персональний комп'ютер.

Для перетворення сигналу після його зняття з аналогового датчика оптимальним є використання підсилювача, виконаного за неінвертуючим типом на основі операційного підсилювача; фільтру нижніх частот; схеми вибірки/запам'ятовування із замкнутим контуром; аналого-цифрового перетворювача з інтеграцією.

Багатофункціональність пристрою полягає в можливості використання роботи модуля виміру в режимі «транзит» під управлінням процесу діагностичного виміру за допомогою ПЕВМ.

Програмно-апаратні засоби мікроконтролера і точна регламентація алгоритмів роботи програмного забезпечення дозволяють добитися високої точності і надійності проведення діагностичних вимірів.

### Література

1. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 214 с.

**Некрасов Максим**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

**Новохатній Іван**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

Наук. кер.: канд. фіз.-мат. наук, доц. Світанько М.В.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В КВАНТОВО-БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУРАХ

Один із видів люмінесценції – флуоресценція - є методом дослідження структури і динаміки процесів, які протікають у біологічних середовищах. Поєднання методів флуоресценції і моделі напівпровідникової квантової точки надає можливість проводити дослідження біологічних нанооб'єктів при відносних обмеженнях у експериментальному обладнанні [1].

Квантові точки (КТ) - це напівпровідникові нанокристали, в яких завдяки ефекту просторового обмеження носіїв зарядів проявляються квантові властивості. Найбільш суттєвим з них є формування флуоресцентних рівнів -



довжина хвилі випромінювання флуоресценції стає залежною від розміру області просторового обмеження, а отже, від розміру квантової точки. Напівпровідникові КТ зазвичай синтезують із елементів груп II - VI або III - V періодичної таблиці, наприклад, CdSe, CdTe або InAs [1,2].

У роботі запропоновано у якості наноматриці для формування КТ використати структуру  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ), яку було отримано за допомогою метода пульверизації із наступною термічною обробкою [3].

Попередні дослідження електрофізичних, оптичних та нелінійно-оптичних характеристик структури  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) продемонстрували можливість формування у ній нанорозмірних квантових об'єктів, а також люмінесцентних ефектів [4].

Такі ефекти можуть бути запропоновані у подальших дослідженнях по формуванню нанопасток для біологічних об'єктів надмалого розміру і подальшого їх транспорту на значні відстані.

### Література

1. Павлік С. І, Зубко Є. І. Основи наноелектроніки. Навчально-методичний посібник для студентів спеціальності 6.05080102 «Мікро-та наноелектроніка». Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 50 с.
2. Готра З. Ю. Субмікронні та нанорозмірні структури наноелектроніки. Підручник / З. Ю. Готра, І. І. Григорак, Б. А. Лукіянець, В. П. Махній, С. В. Павлов, Л. Ф. Політанський, Ежи Потенські. Чернівці : Видавництво та друкарня «Технологічний центр». 2014. 839 с.
3. Світанько М. В., Верьовкін Л. Л., Хрипко С. Л., Левінзон Д. І. Нелінійно-оптичні властивості ZnO / Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотovoltaїка». Тези доповідей – Кременчук : КНУ, 2018 С. 35.
4. Світанько М. В. Дослідження нелінійно-оптичних властивостей структур  $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdS}$  ( $\text{Cu}_2\text{S}-\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ ) / Матеріали XXII Науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА Т. III 23, 27 жовтня 2017 р. Запоріжжя : ЗДІА С. 113.

**Новохатній Іван**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

**Некрасов Максим**

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні

Наук. кер.: канд. фіз.-мат. наук, доц. Світанько М.В.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

Для фіксації та реєстрації акустичної інформації існує величезний набір засобів: електронні стетоскопи, акустичні закладки, спрямовані й лазерні мікрофони, апарати-магнітного запису. Аналіз акустичних каналів перенесення

інформації, методів використання стаціонарних пристроїв детекції низькочастотних сигналів, дослідження акусто-електричного перетворення є досить актуальною темою [1,2].

Для удосконалення акустичних інформаційних систем у роботі на базі прототипу акустичного датчика ІТV КС-121 розроблено схему датчика високої роздільної здатності із наступними параметрами та функціональними можливостями:

- 1) напруга живлення: 8,5 – 16 В;
- 2) струм споживання, не більше в черговому режимі: 12,5 мА;
- 3) струм споживання, не більше в режимі тривоги: 8,5 мА;
- 4) діапазон робочих температур -10 °С ... + 40 °С;
- 5) цифровий математичний алгоритм обробки обох каналів; 6) відсутність аналогової обробки сигналу, що підвищує стійкість до електростатичних і електромагнітних перешкод.

Результати спектрального дослідження резонансної частоти представлено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Дослідження резонансної частоти акустичного датчика

### Література

1. Грінченко В. Т. Основи акустики: навч. посіб. / В. Т. Грінченко, І. В. Вовк, В. Т. Маципура. – К. : Наук. думка, 2007. – 640 с.
2. Захист мовної інформації [Електронний ресурс] : ТЗІ – Інформаційна безпека та захист інформації. - Інформаційна безпека та захист інформації. 11 грудня 2021. Режим доступу : [http://tzi.ua/ua/zahist\\_movno\\_nformac.html](http://tzi.ua/ua/zahist_movno_nformac.html).

## ЗМІСТ

## СЕКЦІЯ «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ»

<b>Абузяров Владислав</b> АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗНИЖЕННЯ ОБСЯГІВ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ АТ «МОТОР СІЧ» .....	4
<b>Березненко Артем</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ З РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ ПАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО» .....	5
<b>Бударенко Олександр</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ УПРАВЛІННЯ ВП ДНІПРОВСЬКОЇ ЕС ДП НЕК «УКРЕНЕРГО» .....	6
<b>Гревцев Олег</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СКОРОЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО» .....	7
<b>Доценко Валерій</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА СТАЛІ В УМОВАХ ПРАТ «ДСС» .....	8
<b>Карнаух Антон</b> ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МЕРЕЖАХ ПРАТ «ЗАПОРІЖЖЯОБЛЕНЕРГО» .....	9
<b>Кравець Аліна</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕХУ №10 ТОВ «ЗАПОРІЗЬКИЙ ТИТАНО-МАГНІСВИЙ КОМБІНАТ» .....	10
<b>Краснокутський Любомир</b> ІННОВАЦІЇ В ГІДРОЕНЕРГЕТИЦІ .....	11
<b>Литвинов Олексій</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕХАНІЧНИМ ЦЕХОМ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОГІЯ» .....	12
<b>Матузко Любов</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯНКИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПАТ «ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЯ» .....	14
<b>Недава Дмитро</b> СТВОРЕННЯ ДОДАТКУ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ, КОНТРОЛЮ ТА МОНІТОРИНГУ БУДИНКУ .....	15
<b>Новокшонов Олексій</b> ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ОБЛАДНАННЯМ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ЦЕХУ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» .....	16

<b>Шелегін Андрій</b>	
<i>ОСОБЛИВОСТІ ВИПАРЮВАННЯ РОЗЧИНІВ У ВИРОБНИЦТВІ ГЛИНОЗЕМУ.....</i>	120
<b>Штаба Олена</b>	
<i>МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛООВОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ПУНКТУ.....</i>	122
<b>СЕКЦІЯ «МІКРОЕЛЕКТРОННІ ТА ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ»</b>	
<b>Беримець Данило</b>	
<i>СХЕМА ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЦИФРОВОГО КОМПАРАТОРА.....</i>	124
<b>Демченко Павло</b>	
<i>ЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗАТОР ЦИФРОВИХ КОДІВ.....</i>	125
<b>Коротич Григорій</b>	
<i>ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПОТУЖНИХ ІНВЕРТОРІВ.....</i>	126
<b>Манасв Кирило</b>	
<i>МЕТОДИКА ЛІНЕАРИЗАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ ВІЗУАЛЬНО-БЛОЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ MATLAB SIMULINK.....</i>	127
<b>Ніколаєнко Дмитро</b>	
<i>РОЗРОБКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ.....</i>	129
<b>Нішанов Тимур</b>	
<i>ДІАГНОСТИКА ПАТОЛОГІЇ СІТКІВКИ ОКА.....</i>	130
<b>Некрасов Максим, Новохатній Іван</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В КВАНТОВО-БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУРАХ.....</i>	131
<b>Новохатній Іван, Некрасов Максим</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИСОКОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ.....</i>	132
<b>Рибка Костянтин</b>	
<i>РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ.....</i>	134
<b>Сазонов Олександр</b>	
<i>ЦИФРОВИЙ ЧАСТОТОМІР НА PIC – КОНТРОЛЕРІ.....</i>	136
<b>Сушко Антон</b>	
<i>КОДУЮЧІЙ ПРИСТРІЙ З СКАНОВАНОЮ КЛАВІАТУРОЮ.....</i>	138
<b>Шкітун Іван</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ ПРИСТРОЇВ ВИМІРУ НАПРУГИ.....</i>	139
<b>Шмалій Олена</b>	
<i>ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ IoT.....</i>	140