

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра Приладобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність - 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о.завідувача кафедри
Юрій КИРИЧУК.
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)
«__» _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту**

Бондарю Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Лазерний мікрофон _____

керівник проєкту Нечай Сергій Олексійович, к.т.н. _____

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

затверджені наказом по університету від «26» травня 2021 р. №1347-с

2. Термін подання студентом проєкту 14 червня 2021 р. _____

3. Вихідні дані до проєкту Динамічний діапазон - 24 біт; Тип пружного
елемента – мембрана; Тип зчитування звукової інформації – цифровий; Метод
зчитування звукової інформації – оптичний; Габаритні розміри не більше –
320x140x140; Діапазон робочих температур не менше – -10°C - +50°C.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно
розробити) Огляд існуючих лазерних акустичних систем; Принцип роботи
мікрофонів різного типу; Капсули мікрофонів; Розрахунок мембрани; Вибір
лазера; Вибір фотоприймача; Розрахунок матриці; Технологічний розділ.

5. Перелік (ілюстративного) графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, тощо) Аркуш Формату А1 – Складальне креслення; Аркуш формату А1 – Деталювання; Аркуш формату А1 – Структурна схема; Аркуш формату А1 – 3D модель.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічний	Шевченко В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 30 квітня 2021 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Одержати у керівника дипломного проєкту (ДП) затвердженого завідувачем кафедри завдання на ДП	30 квітня 2021 р.	
2.	Виконання пояснювальної записки ДП	05 червня 2021 р.	
3.	Виконання технологічного розділу ДП, передача на перевірку та одержання підпису консультанта	05 червня 2021 р.	
4.	Виконання графічних матеріалів ДП	05 червня 2021 р.	
5.	Подання керівнику для перевірки: ДП та тексту його остаточного варіанту в електронному вигляді, одержання відгука на ДП	08 червня 2021 р.	
6.	Одержання рецензії на ДП	09 червня 2021 р.	
7.	Подання ДП на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	09 червня 2021 р.	
8.	Подання ДП, відгука та рецензії в екзаменаційну комісію університету	15 червня 2021 р.	
9.	Захист дипломного проєкту в екзаменаційній комісії університету	16 червня 2021 р.	
10.	Подання повної електронної версії ДП на кафедру для розміщенню в ЕЛАКРІ	17 червня 2021 р.	

Студент

(підпис)

Максим БОНДАР

(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту

(підпис)

Сергій НЕЧАЙ

(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний

(повна назва інституту/факультету)

Приладобудування

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

Юрій КИРИЧУК

(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ ” 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування приладів»

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: Лазерний мікрофон

Виконав (-ла): студент (-ка) IV курсу, групи ПМ-71
(шифр групи)

Бондар Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник **доцент, к.т.н. Нечай С.О.**

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

(підпис)

Консультант з технологічного розділу

(назва розділу)

доцент, к.т.н. Шевченко В.В.

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

(підпис)

Рецензент **ас. Паздрій О.Я.**

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

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Максим БОНДАР

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

На тему: Лазерний мікрофон

Київ – 2021 року

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт містить: 61 сторінки, 1 таблицю, 25 рисунків, 23 джерела та додатки.

У даному дипломному проєкті розглядаються принцип роботи лазерного мікрофона. Головною метою проєкту є можливість покращення якості звучання порівнюючи із існуючими мікрофонами для медіа простору шляхом створення оптичного мікрофона. Розглянута ефективність використання оптичного методу для підвищення якості та точності зчитування звукового сигналу. Ще на меті є полегшення рухомих частин та зменшення розміру конструкції мікрофона в результаті відмови від котушок. Також розглянуті типи мікрофонів та їх принцип дії, що доводить доцільність створення лазерного мікрофону, як найменш для полегшення конструкції. Але по отриманим розрахункам конструкція вийшла досить великою по розмірам – потрібно провести більш детальні дослідження та розрахунки, щоб зробити конструкцію меншою.

На даний момент у медіа індустрії немає аналогів із застосуванням оптичного методу зчитування звукової інформації, що в свою чергу спонукає до його дослідження та тестування на професійних студіях звукозапису.

Ключові слова: оптичний мікрофон, лазерний мікрофон, лазерні акустичні системи, медіа.

ABSTRACT

Degree project contains: 61 pages, 1 table, 25 figures, 23 sources and appendices.

In this degree project examines the principle of the laser microphone. The main goal of the project is to improve the sound quality compared to existing microphones for media space by creating an optical microphone. The efficiency of using the optical method to improve the quality and accuracy of sound signal reading is considered. Another goal is to facilitate the moving parts and reduce the size of the microphone structure as a result of the rejection of the coils. Also consider the types of microphones and their principle of operation, proving the feasibility of establishing a laser microphone, as least to facilitate construction. But according to the calculations, the structure turned out to be quite large in size - need to conduct more detailed research and calculations to make the structure smaller.

At the moment, the media industry has no analogues with the use of optical method of reading audio information, which in turn encourages its research and testing in professional recording studios.

Key words: optical microphone, laser microphone, laser acoustic systems, media.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
РОЗДІЛ 1	14
ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	14
1.1. Огляд існуючих лазерних акустичних систем.....	14
1.2. Огляд мікрофонів різного типу	16
1.2.1. Огляд конденсаторного мікрофону.....	16
1.2.2. Огляд вугільного мікрофону.....	19
1.2.3. Огляд оптоакустичного мікрофону.....	23
1.2.4. Огляд електретних мікрофонів	25
1.2.5. Огляд п'єзоелектричних мікрофонів.....	28
1.2.6. Огляд динамічних мікрофонів	30
1.3. Капсули мікрофонів.....	32
1.3.1. Капсула закритого типу	33
1.3.2. Капсули відкритого типу	33
1.3.3. Капсули комбінованого типу	35
1.4. Мембрана.....	36
1.4.1. Вибір матеріалу мембрани.....	35
1.4.2. Вибір розміру мембрани	36
1.4.3. Кріплення мембрани в корпусі	37
1.4.4. Фізичні параметри майлару	38
1.4.5. Вихідні дані для розрахунку мембрани	38
1.4.6. Розрахунок майларової мембрани	39
1.5. Лазер.....	41
1.5.1. Вибір лазеру.....	41
1.6. Фотоприймач.....	41
1.6.1. Фотоприймачі на внутрішньому фотоєфекті	42
1.6.2. Вибір фотоприймача.....	44

					<i>ДІПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Бондар М.С.				Літера	Аркуш	Аркушів		
Перевір.						10			
Реценз.					<i>4 курс, ПМ-71</i>				
Н. Контр.									
Затверд.									

1.6.3. Вихідні дані для розрахунку матриці.....	44
1.6.4. Розрахунок довжини матриці.....	44
1.6.5. Розрахунок пікселів на матриці	46
1.7. Призма.....	47
1.7.1. Вибір матеріалу призми.....	47
ВИСНОВКИ ДО ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО РОЗДІЛУ.....	50
РОЗДІЛ 2	51
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	51
2.1. Вибір технологічної одиниці.....	51
2.2. Визначення основних показників технологічності.....	51
2.3. Визначення додаткових показників технологічності	52
2.4. Визначення комплексного показника технологічності виробу	53
2.5. Схема складального складу	54
2.6. Технологічна схема складання	56
2.7. Розрахунок геометричної точності складання.....	58
2.8. Послідовність складання	60
ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62
Додатки	

					<i>ДІПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Бондар М.С.</i>			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>						11	
<i>Реценз.</i>					<i>4 курс, ПМ-71</i>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							

ВСТУП

Як уже відомо, лазерні мікрофони широко використовуються для прослуховування, тому що за допомогою лазера можна знімати звук з відбиваючих поверхонь (скла, мембран та ін.) на відстані до 1000 м [1].

Лазерний мікрофон отримує вплив від зміни координати поверхні, з якої знімається інформація, то його можна застосувати, наприклад, для детектування сейсмічної активності в земній корі. Другим варіантом можливого застосування даного виду зв'язку є детектування пульсу, дихання у людини, за умови, що до його тіла буде прикріплена відбиваюча поверхня. Перевагами таких систем є швидкість передачі і можливістю віддаленого доступу від місця збору інформації [2].

В розрахунку на вищеперераховане, можна виділити високу точність зчитування звукового сигналу та чутливість до найменших коливань відбиваючої поверхні. Що підходить для поставленої мети [1].

Перші лазерні мікрофони почали використовуватися ЦРУ у 60-х роках, але спроби створення датуються ще 30-ми роками. Дані прилади намагалися сконструювати за допомогою ламп та світлових фільтрів. При цьому досліди можна було назвати успішними.

В наш час такі мікрофони також, в загальному, використовуються лише службами спеціального призначення, армією та правоохоронними органами для прослуховування закритих приміщень через вікна або тонкі стіни. Висока чутливість та дальність роблять лазерні мікрофони незамінними у цьому ділі.

Але на сьогоднішній день лазерні мікрофони досі не знайшли використання у медіа. В порівнянні з іншими представниками цієї ніші, є доцільним їх застосування в нинішніх реаліях.

Можливість відмовитися від використання залізних деталей, таких як котушки та конденсатори, а також використання лазера робить можливим відмову від великої кількості дротів. В результаті ми можемо зменшити розміри приладу [1].

Лазер надає можливість збільшити швидкість передачі інформації, через те, що його швидкість наближена до швидкості світла. Також можна виділити

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схильність лазерних мікрофонів до зміни координати поверхні з якої зчитується інформація, що дозволить підвищити чутливість, в порівнянні з іншими типами мікрофонів [1].

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

На момент написання даного дипломного проєкту лазерні мікрофони не знайшли широкого використання у медіа, незважаючи на те, що вони мають теоретичну можливість зчитувати інформацію з більшою швидкістю та чутливістю.

Також в мікрофонах з використанням лазерів можна зменшити розміри конструкції шляхом відмови від металічних деталей. В тому числі, лазер робить можливою відмову від великої кількості дротів.

Таким чином, лазерні мікрофони можуть об'єднати в собі якості різних типів мікрофонів.

1.1. Огляд існуючих лазерних акустичних систем

Існує декілька схем побудови лазерних акустичних систем. На рис. 1.1 приведений найпростіший варіант. Промінь лазера падає на скло або іншу відбиваючу поверхню під кутом. Коли лазер проходить границю скло-повітря промінь починає моделюватися звуковими коливаннями. Відбитий промінь прямує до детектора, який знаходиться на осі вже відбитого променя, відбувається амплітудна демодуляція. Така система проста, але застосовується дуже рідко, через необхідність ретельного юстирування [3, 4].

Враховуючи цей недолік, можна сказати, що використання такого варіанту буде недоцільним через велику кількість похибок, пов'язаних з розташуванням детектора. Відбитий лазерний пучок буде постійно змінювати свій кут через вібрації відбиваючої поверхні, скло буде змінювати своє положення у просторі, хоч і не істотно. Як наслідок, потрібно буде збільшувати приймаючу площину детектора, збільшуючи розміри приладу, чого хотілося би уникнути [1].

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

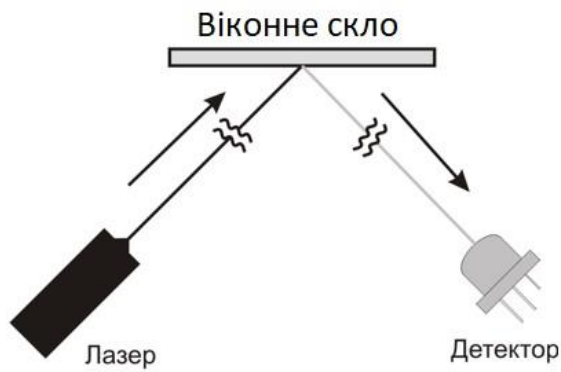


Рисунок 1.1. Найпростіший варіант побудови лазерної акустичної системи

Наступним варіантом буде система, яка використовує дільник пучка випромінювання, такий спосіб дозволяє об'єднати промінь від лазера та детектор, що проілюстровано на рис. 1.2, що надає змогу звести падаючий та відбитий промінь [1].

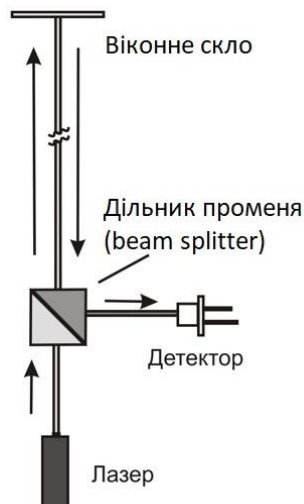


Рисунок 1.2. Варіант побудови лазерної акустичної системи із дільником пучка випромінювання

В рамках підвищення чутливості можна використовувати інтерферометр, його схема представлена на рис. 1.3. Даний інтерферометр має плечі однакової довжини, який називається «DualBeam LASER Міс». Головний принцип цієї схеми - диференційний метод вимірювання акустичної вібрації. Ділянка віконного скла, з якого знімається вібрація, має малий розмір, отже, різко послаблюється синфазна перешкода, яка викликається низькочастотними коливаннями скла [3, 4].

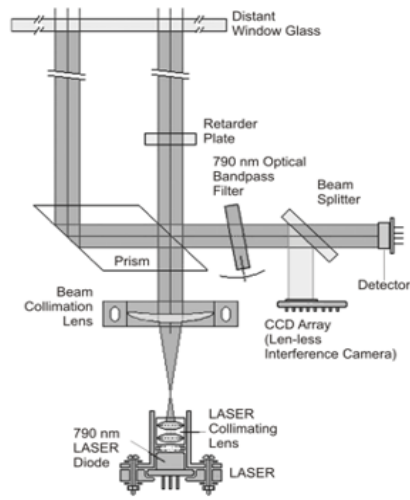


Рисунок 1.3. Інтерференційна схема побудови лазерної акустичної системи

На основі другого варіанту плануються подальші дослідження, буде розглянута можливість створити прилад з оптимальною ергономічністю та невеликими похибками. Також для підвищення чутливості можна розглядати варіант з інтерферометром. Але для цього проекту буде використовуватися варіант перший [1].

1.2. Огляд мікрофонів різного типу

1.2.1. Огляд конденсаторного мікрофону

Являє собою, практично, конденсатор, увімкнений в електричний ланцюг послідовно разом з джерелом напруги постійного струму (яке називається "фантомне живлення") та опором навантаження (активним). Схема, що пояснює конструктивну будову даного типу мікрофонів представлена на малюнку 1.4.

Будова конденсаторного мікрофона:

- найбільш тонка рухома плівка-мембрана з пластику високої якості, який не містить добавок, також вона покрита тонким шаром золота або нікелю;
- нерухома пластина-провідник.

Поміж двома тонкими шарами знаходиться повітряний проміжок, який слугує конденсатором в стані роботи. Змусити рухатися діафрагму під впливом

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звукових хвиль можливо шляхом застосування батареї, крім того фантомним зі струмом 12-48В (постійним) або зовнішнього живлення.

Крім того всі мікрофони із застосуванням активних контурів джерел фантомного живлення (зовнішнього) використовують запобіжні спецсистеми, які запобігають пошкодженням або замиканням [7].

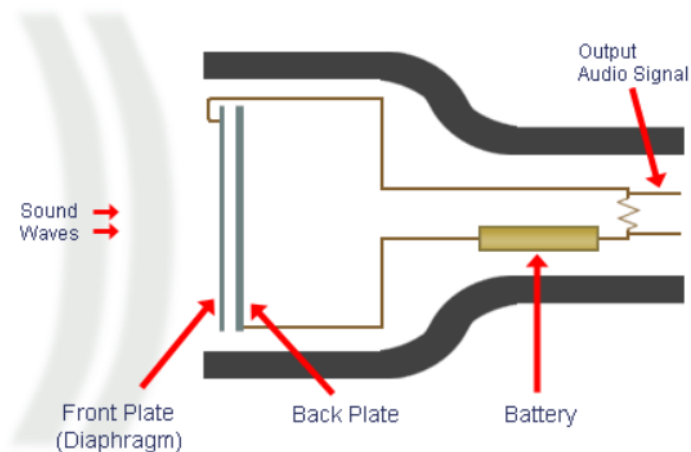


Рисунок 1.4. Будова конденсаторного мікрофону.

Особливості експлуатації

Для того, щоб конденсаторний мікрофон працював ефективно на свою повну потужність та повністю підходив до усіх заявлених характеристик, потрібно створити електричне поле для переміщення мембрани у просторі від акустичних хвиль. Для розуміння принципу роботи пристрою маємо за необхідне знати його будову.

Принцип роботи

У випадку, коли звукова хвиля потрапляє на мембрану мікрофона, вона починає коливатися щодо металевої пластини – кажучи іншими словами, відстань між двома металічними пластинками весь час змінюється з частотою звукових коливань, в цей момент з ними змінюється також і ємність цілої системи.

В цьому випадку виконується головний принцип роботи конденсаторного мікрофона - перехід звукової енергії, в електричну енергію, в результаті зміни ємності.

Перетворювач імпедансу

Але енергія одної малої конденсаторної системи дуже мало для того, щоб посилити сигнал до необхідного нам рівня гучності. У капсуля велика вихідна напруга, а ось струм навпаки занадто малий. Отже наступним чином дуже важливою складовою частиною для конденсаторного мікрофона маємо «перетворювач імпедансу» - передавальна схема проміж навколишнім середовищем та капсулем. Даний перетворювач підсилює потік, як наслідок на виході мікрофона ми отримуємо набагато більш потужний сигнал.

Цей тип мікрофонів здатен забезпечити високоякісне звучання, тому і широко використовуються у великій кількості музичних студій, як для запису вокалу, так і різних інструментів. На сьогоднішній день конденсаторний мікрофон поєднує в собі високу якість конструкції, комплектацію якісними складовими елементами, а також забезпечення звучання високої точності.

Основні переваги конденсаторного мікрофону: дуже широкий частотний діапазон; маленькі розміри; живе м'яке звучання з досить високим рівнем прозорості отриманого звуку та чутливості; невід'ємний для використання у студійному записі стерео звуку.

Конденсаторний мікрофон має можливість забезпечити якісне живе звучання та надає змогу отримати високу чутливість.

Суттєві недоліки конденсаторних мікрофонів:

Конденсаторні мікрофони мають більш складний пристрій, ніж стандартні динамічні, тому їх вартість вище на порядок. Також важливим недоліком є те, що пристрій досить вразливий до ударів та інших механічних пошкоджень, як результат вимагає обережного поводження. При падінні конденсаторні мікрофони можуть вийти з ладу та вже не відповідати технічним даним, які були заявлені [7].

Від дії звукових хвиль залежить потужність та швидкість переміщення діафрагми у просторі. Електромагнітний заряд провідникової пластини під дією зближення або віддалення від неї діафрагми змінюється. Якщо казати іншими словами, то нестійка напруга відображає нам рух конденсаторної діафрагми.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через високотехнологічну будову мікрофона, вони стають схильними до впливу деяких факторів, на одержуваний результат впливають різкі зміни температурних режимів та вологість повітря, яка буде зависокою.

Це означає, що у випадку використання конденсаторної моделі мікрофонів слід враховувати дані фактори для того, щоб не викликати появи зайвих шумів та спотворень [7].

Галузь у якій застосується: Дякуючи дуже легкій масі мембран, які використовуються у конденсаторних мікрофонах, діафрагми точніше та детальніше захоплюють фронт звуку в порівнянні з іншими мікрофонами [8].

Через це, незважаючи на позиціонування виробником, інструментальний або вокальний конденсаторний мікрофон – наразі студійні мікрофони це конденсаторні мікрофони.

Маленькі розміри такого типу мікрофонів дозволяють застосовувати їх в різних напрямках музики, від невеликих студій до малих концертних залів. В даній конструкції компактність не впливає на високу точність якості звучання [7].

1.2.2. Огляд вугільного мікрофону

У 1856 році французький фізик Дю Монсель опублікував результати своїх досліджень, які показали, що графітові електроди здатні реагувати на значні зміни електричного опору невеликою зміною площі контакту провідників. Ця особливість стала основою для різних конструкцій мікрофонів.

Еміль Берлінер, американський винахідник, побудував перший вугільний мікрофон 4 березня 1877 року. Однак, поширення отримав лише мікрофон американського винахідника Девіда Юза у травні 1878 року.

Мікрофон Юза був побудований за допомогою вугільного стрижня з загостреними кінцями, який впирався в вугільні чашечки, і був з'єднаний з рухомою мембраною.

Площа контакту вугільного стрижня з оболонками суттєво змінювалася в залежності від вібрацій мембрани і, отже, струму в ланцюзі та опір вугільного

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікрофона. Багато винахідників вдосконалили мікрофон Юза. Представлення будови мікрофону Юза представлено на рисунку 1.5.

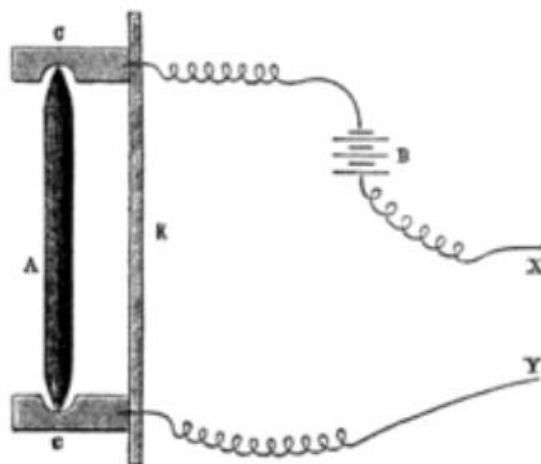


Рисунок 1.5. Мікрофон Юза

Суттєво вдосконалив цей вид мікрофонів Едісон (також запропонував використовувати порошок вугілля замість вугільної палички, тобто вони винайшли новий тип вугільного мікрофона з використанням вугільного порошку). У 1890 році Ентоні Уайт став автором найбільш вдалої конструкції вугільного мікрофона.

Вугільний мікрофон – був одним з перших винайдених типів мікрофонів. Такий мікрофон містить вугільний порошок, який розміщений між двома залізними пластинами і закритий в герметичну капсулу. Капсульні стінки або одна з залізних пластин прикріплюються до мембрани.

Коли змінюється тиск на порошок змінюється, і, площа контакту між окремими вугільними зернами, як результат, опір між металевими пластинами змінюється. У випадку, якщо пускати проміж пластинами постійний струм, тоді напруга проміж пластинами буде залежати від звукового тиску на мембрану [5].

Принцип роботи вугільного (порошкового) мікрофону:

На рисунку 1.6. зображений вугільний мікрофон, де

- 1 – діафрагма або мембрана, як правило виконана з тонкого металу;
- 2 - рухомий електрод (жорстко закріплений з мембраною);
- 3 - вугільний порошок;

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 - корпус виконаний з діелектричного матеріалу;

5 - нерухомий електрод;

6 – узгоджене навантаження R_n ;

7 - ЕРС, батарея.

Принцип роботи вугільного мікрофона заснований на зміні опору вугільного пилу, тому опір вугільного мікрофона залежить від таких значень: струму, джерела живлення, тривалості періоду живлення, розміру зерна та форми вугільного порошку.

За рахунок коливань звукової хвилі виникає тиск на мембрану 1 (в розрахунку на те, що вона пружна і гнучка), яка призводить до коливань рухливий електрод 2 наслідком чого, порошок 3 починає як стискатися, так і розтискати, а при цьому його опір то збільшується, то зменшується. У ланцюгу крізь нерухомий електрод 5 починає проходити пульсуючий струм (змінний струм і постійний струм) у формі синусоїди.

В такому випадку, основною функцією мікрофона являється перетворення звукових коливань в електричні, а також характеризується притаманними підсилювальними характеристиками і в тисячі разів може посилювати сигнал.

Опір вугільного мікрофона, як правило, становить 60-300 Ом, а частота - 300-3000 Гц. Мікрофон є чутливим до вологості та впливу грози [6].

Формула знаходження миттєвого значення е.р.с.: $\varepsilon = IR_m \sin \omega_0 t$

R_m - амплітуда мікрофонного опору (величина змінна).

Формула розрахунку електричної потужності P_m , що віддається узгодженому навантаженню мікрофоном R_n : $P_m = \frac{E_m^2}{4R_n}$. В разі $R_n = R_m$ та $E_m = \frac{I_0 R_m}{\sqrt{2}}$, в результаті формула отримає вигляд: $P_m = \frac{I_0^2 R_m^2}{8R_m}$, де R_m – середній мікрофонний опір в момент роботи [6].

					ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

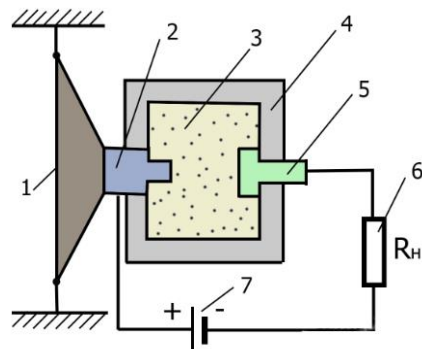


Рисунок 1.6. Вугільний (порошковий) мікрофон

Основні переваги: Вугільному мікрофону майже не потрібне посилення сигналу, сигнал, який поступає з його виходу, можна надсилати безпосередньо на гучномовець або навушник (високоомний).

Суттєві недоліки вугільного мікрофону: Даний тип мікрофонів характеризується поганою АЧХ та досить вузькою смугою пропускання (тобто вони нечутливі до дуже низьких та занадто високих частот), також у них високий рівень шумів та спотворень. Ще на відміну від найбільш поширених динамічних мікрофонів, вугільні вимагають живлення постійним струмом [5].

Галузь у якій застосовується: Вугільні мікрофони широко використовувалися, до відносно недавнього часу, в телефонних апаратах, бо їх використання давало можливість звільнити апарат від дуже дорогих і досить дефіцитних у той час деталей напівпровідників або енергоємних, громіздких і крихких підсилювачів на радіолампах.

Стандартний телефонний апарат, який був з дисковим номеронабирачем в більшості випадків містив вугільний мікрофон (але в апаратах, які з'явилися пізніше часто використовуються електретні або динамічні мікрофони, також часто об'єднані в одну конструкцію з підсилювачем, яку можна замінити з вугільним мікрофоном).

На кінець ХХ століття з'явилися доступні й доступні напівпровідникові підсилювачі, що дозволяють застосовувати електретні мікрофони в звичайних телефонах, які отримують живлення від ліній.

Як результат сучасні пристрої майже не застосовують вугільні мікрофони [5].

1.2.3. Огляд оптоакустичного мікрофону

Оптоакустичні мікрофони являють собою високотехнологічні апарати для отримання інформації, у якому застосовується невидимий для людського ока інфрачервоний промінь лазера, з використанням якого відбувається підслуховування звукових сигналів цільового об'єкта. Даний пристрій є самим ефективним пристроєм віддаленого лазерного прослуховування в світі, який дозволяє оператору здійснювати не детектуєме, без спеціальних приладів, прослуховування аудіо сигналів, які виходять з цільового приміщення, яке має, хоча б, одне вікно, на великій відстані, яке становить близько 1000 метрів.

Як правило використовується відбиття випромінювання лазера від того чи іншого відбиваючого матеріалу, через це подібні мікрофони досить часто називають мікрофонами лазерними.

Даний тип мікрофонів є досить простим у зборі та використанні, яка має три головні компоненти: лазерний передавач, лазерного приймач і блок посилення та еквалізації разом із записуючим аудіо пристроєм.

Принцип роботи пристрою укладається в передачі невидимого для людського ока інфрачервоного променя на вікно приміщення в якому потрібно зібрати інформацію. Лазер реагує на вібрації скла вікна, які викликаються звуковими хвилями в результаті розмов всередині кімнати, потім відбитий промінь прямує назад на приймач. Відбитий від вікна лазерний промінь, на приймачі конвертується в форму електронних сигналів, відбувається їх фільтрація та посилення, що затим надсилаються в спеціальний виділений блок запису, який підключається до власного підсилювача, оснащеного головними телефонами та гучномовцем.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

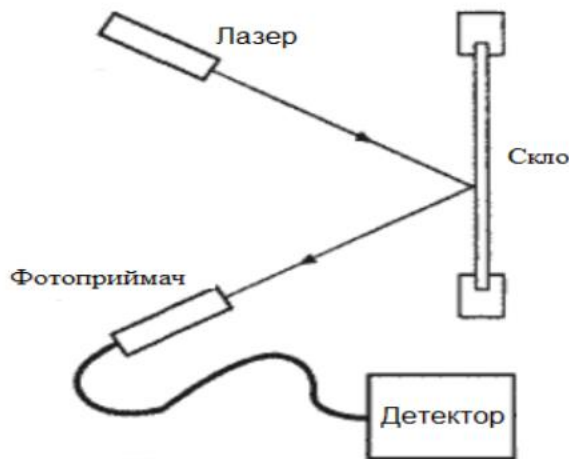


Рисунок 1.7. Схема найпростішого оптоакустичного мікрофона

Основні переваги: Можливість одночасного ведення моніторингу звукового сигналу у реальному часі та записі цього сигналу. Дані мікрофони є простими в збірці та використанні.

Основні недоліки: Потрібно розуміти, що, як правило, подібні прилади є штучними зразками, і вони потребують спеціальних алгоритмів обробки сигналу та підстроювання компонентів.

Купити лазерні мікрофони можуть лише служби охорони правопорядку, урядові органи, в тому числі уповноважені ними постачальники, які витісняють його із інтересів споживача.

Галузь у якій застосовується: Лазерні мікрофони досить специфічні і мають свою досить вузькоспрямовану сферу застосування. Подібний принцип також має місце в деяких наукових приладах, як приклад, це може бути сейсмограф або високоточні датчики відстаней.

Даний тип мікрофонів розроблений спеціально для таємного застосування органами в випадку, коли розміщення пристрою для підслуховування в області в якій планується збір аудіо інформації є небажаним або неможливим.

Лазерні мікрофони також досить важко виявити в процесі функціонування через те, що інфрачервоний промінь із певною довжиною хвилі лазера повністю невидимий для людського ока і його неможливо помітити без використання спеціальних приладів.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2.4. Огляд електретних мікрофонів

Мікрофони із принципом дії, подібним із мікрофонами конденсаторного типу, які використовують в якості обкладки (нерухомої) конденсатора та джерела напруги (постійної) пластину виконаної із електрету. Застосовується можливість даних матеріалів до зберігання поверхневого заряду на протязі тривалого часу [9].

Електрети — речовини аморфні, які здатні на протязі досить тривалого часу утримувати наведену поляризацію. Вони складаються з полярних молекул, як приклад, суміші смоли та воску. Розплавивши таку суміш і помістивши її в потужне електричне поле, а згодом в такому стані дати затверднути, то можна зберігати поляризацію днями.

Проте з плином часу процеси релаксації, які протікають повільно, призведуть до хаотичної орієнтації полярних молекул, в результаті електричний момент буде потроху зникати. Це свого роду електричний аналог магніту, який достатньо довго може зберігати макроскопічний електричний момент внаслідок зняття зовнішнього електричного поля, а також інших чинників, таких як тиску, освітлення або опромінення, що викликають в речовині поляризацію.

Використовуються у якості джерел електричного поля (сталого) у деяких мікрофонів, детекторах, вібродатчиках, фільтрах повітря, іонізуючого випромінювання тощо [10].

Винайдені ученим Егуті, який був родом з Японії, на початку 1920-х років. Мікрофони електретного типу були порівняно дорогими, як тільки з'явилися, а також їх завищений вихідний опір (які були рівні МОм та вище) спонукало використовувати для створення тільки лампові схеми.

Завдяки застосуванню польових транзисторів стала можливою поява надзвичайно компактних та ефективних електретних мікрофонів, в результаті з 1970-х років мікрофони цього типу почали активно застосовуватися в побутовій техніці та досить великій кількості додатків.

З гомоелектрета тонку плівку поміщують в зазор конденсаторного мікрофона (мається на увазі конденсатора, у якого одна з мембран має змогу

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рухатися під впливом акустичного сигналу, який поступає ззовні) або наклеюється на одну з мембран.

Що призводить до того, що з'являється деякий постійний заряд конденсатора. А при зміні ємності, в результаті зміщення мембрани, на конденсаторі можна спостерігати зміну напруги, відповідну акустичному сигналу, який отримується.

Принцип дії електретного мікрофона: В такому типі мікрофона сама гетероелектретна плівка слугує мембраною. А при її деформації на поверхнях з'являються різнойменні заряди, що можна зареєструвати, встановивши електроди саме на поверхні плівки (напилюють на поверхню тонкий шар металу, а саме алюмінію, золота, срібла та т.п.).

У конструкції майже всіх електретних мікрофонів включають попередній («узгоджувач імпедансу» та «перетворювач опору»), який базується на польових транзисторах, рідше з використанням мініатюрних радіоламп, з великим вхідним опором близько 1 ГОм та великим вихідним опором в сотні Ом, який розміщується до капсуля досить близько.

Це означає, що незважаючи на відсутність залежності від поляризуючої напруги, дані мікрофони потребують джерело електроживлення (зовнішнє) [9].

Підключення електретного мікрофона приведено на типовій схемі рисунок 1.8.

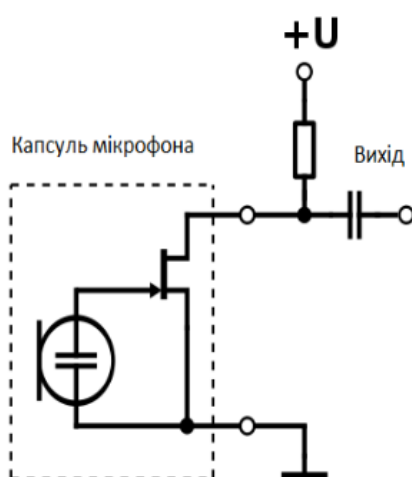


Рисунок 1.8. Типова схема електретного мікрофона

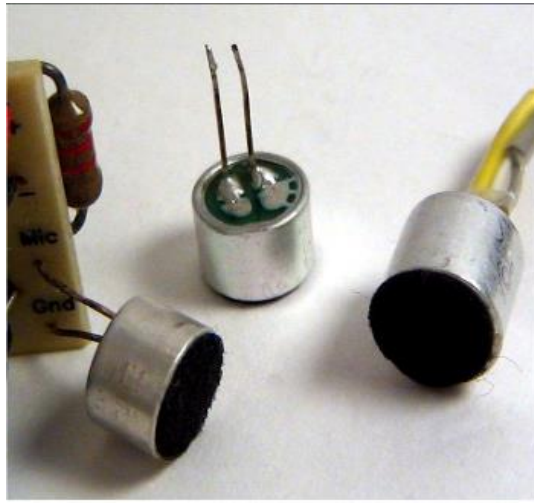


Рисунок 1.9. Капсуль електретного мікрофону.



Рисунок 1.10. Будова електретного мікрофону

Основні переваги: Кожну деталь акустики точно сприймають для високоякісного відтворення звуку. Процес виготовлення досить легкий та дешевий. Також вони досить популярні на ринку, тому, і, мають низьку ціну. Також не потребують джерела живлення (зовнішнього) [11].

Основні недоліки: Мембрани електретних мікрофонів, як правило, мають меншу площу та досить велику товщину, в результаті, характеристики поступаються конденсаторним мікрофонам [12].

У відмінності від динамічних мікрофонів, які вирізняються низьким електричний опір котушки ($\sim 50 \text{ Ом} \div 1 \text{ кОм}$), мікрофони електретні володіють надзвичайно високим імпедансом (мають ємнісний характер, конденсатор із ємністю близько десятків пФ), це змушує підключати їх до підсилювачів з

високим вхідним опором [9].

Через час електретний матеріал поволі розряджається, який виступає джерелом постійної напруги. Як правило, строк гарантійної роботи надають на 2 роки.

Галузь у якій застосовується: Конденсаторний електретний мікрофон застосовується у: мобільних радіостанціях, телефонах зв'язку, звукозаписі, звукопередачі, охоронних системах (для прослуховування приміщень, подзвонивши на модем), мікрофонах для конференц-залів, системах сповіщення у службових приміщеннях, студійному звукозаписі, омофонах та радіостанціях.

1.2.5. Огляд п'єзоелектричних мікрофонів

Вчені Яковлев та Ржевкін представили кардинально новий підхід до конвертації звуку в коливання струму - мікрофон п'єзоелектричний, у 1925 році. П'єзоелектричний кристал піддається дії звукового тиску [16].

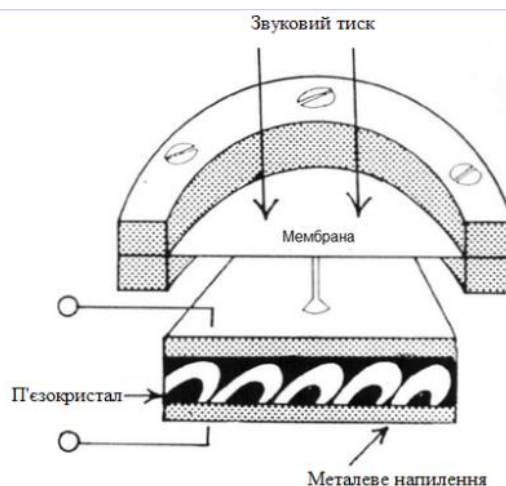


Рисунок 1.11. Схема мікрофону п'єзоелектричного

Перетворення полягає у п'єзоєфекті, що пояснює появу п'єзоелектриків (електричних зарядів) на деяких гранях кристалів при деформації (п'єзоєфект прямий), виникнення деформації кристалів в результаті впливу електричного поля (п'єзоєфект зворотний) [17].

На мембрану діє звук, яка пов'язана зі стрижнем, що закріплений на п'єзоелектрику. Кристал (п'єзо) деформується під впливом стрижневих коливань,

					ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

на виводах утворюється напруга, яка відображає форму падаючого звуку. Ця напруга застосовується, як корисний сигнал [16].

У випадку, якщо пластину вирізати під потрібним кутом до осі кристала, можна одержати поляризацію у випадку деформації пластини від її поперечного згину. В результаті наклеювання залізних електродів на обидві протилежні грані пластини посередині одержують різницю потенціалів, яка пропорційна величині деформації пластини від поперечного згину.

Для того, щоб отримати невеликий «механічний опір при згині пластини беруть дуже тонку, а щоб отримати невеликий електричний опір довжину та ширину пластини обирають відносно великими.

Для того, щоб зменшити електростатичний гістерезис, аналогічний магнітному, обидві пластинки п'єзо елемента обклеюють із зустрічним положенням електричних осей. В цьому випадку п'єзоелемент має назву біморфний.

Мікрофони з п'єзо елементом відносять до електростатичного типу мікрофонів, оскільки головні співвідношення, які процесами перетворення коливань керують, схожі процеси відбуваються в електростатичних перетворювачах, як приклад, у електретних.

Відмінність між ними в тому, що перетворювачі п'єзоелектричні не потребують електричної поляризації: електричний заряд утворюється у них в результаті деформації. У перетворювачів електретних наявний заряд, що пульсує в такт змінам ємності перетворювача, який викликається деформацією електрета.

Вираз для коефіцієнта електромеханічного зв'язку має наступний вигляд:

$$K_{CB} = \frac{K_0 \cdot l^2}{\omega \cdot h^2} [18]$$

Основні переваги: Досить прості у виготовленні, дешеві матеріали та дешевий сам процес виготовлення.

Основні недоліки: Використання мікрофонів з кристалами із сегнетової солі сильно обмежена залежністю температури її роботи. Межі температур: -18 - +122 °. Придатні матеріали для мікрофонів даного типу це титанат барію та інші керамічні матеріали, які працюють в будь-яких діапазонах температур (майже).

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Головними недоліками даних мікрофонів є низька чутливість, велика нерівномірність, складність механічної системи та високий вхідний опір.

Амплітудо-частотна характеристика п'єзо мікрофонів не дотягує до АЧХ гарних динамічних мікрофонів. Їх застосування дуже обмежене [18].

Галузь у якій застосовується: знімачі вібрацій в акустичних гітар, мікрофони дуже маленьких розмірів (що кріпляться до одяжі спікера на сцені і т.п.) та телефонія.

1.2.6. Огляд динамічних мікрофонів

Даний тип мікрофонів, схожий за конструкцією і зворотний за принципом роботи динамічних гучномовців. Динамічні мікрофони, конструкцією дещо відрізняється від динаміка: у них відмінна мембранна конструкція, у котушці більша кількість витків, яка намотана значно тоншим проводом. Мікрофони цього типу являють собою мембрану, яка з'єднана з провідником, що в свою чергу розміщений в, створюваному постійним магнітом, сильному магнітному полі.

Принцип дії: Коливання звукових хвиль впливають на діафрагму та змушують рухатися провідник. У випадку перетинання провідником силових ліній магнітного поля, в провіднику наводиться ЕРС індукції. Вона (ЕРС індукції) пропорційна амплітуді коливань діафрагми та коливальній частоті [12]. Динамічний мікрофон не вимагає фантомного живлення, на відмінну від конденсаторного. За виконанням конструкції мікрофони динамічні діляться на стрічкові та катушкові.

Мікрофони катушкового типу бувають: одно направлені (кардіоїдна, гіперкардіоїдна та суперкардіоїдна характеристика) та ненаправлені (із круговою характеристикою) [13].

Принцип дії електродинамічного мікрофону катушкового типу: до катушки механічно жорстко приєднана мембрана, яка розташовується в зазорі (кільцевому) магнітної системи (аналогічно, як у динаміків). В результаті

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

коливань діафрагми під впливом звукової хвилі в котушці витки починають перетинати магнітні силові лінії, а в котушці наводиться ЕРС (змінна).

В даний час - один із найпоширеніших типів мікрофонів, на ряду з мікрофонами електретними [12]. Конструкцію динамічного мікрофону котушкового типу зображено на малюнку 1.12.

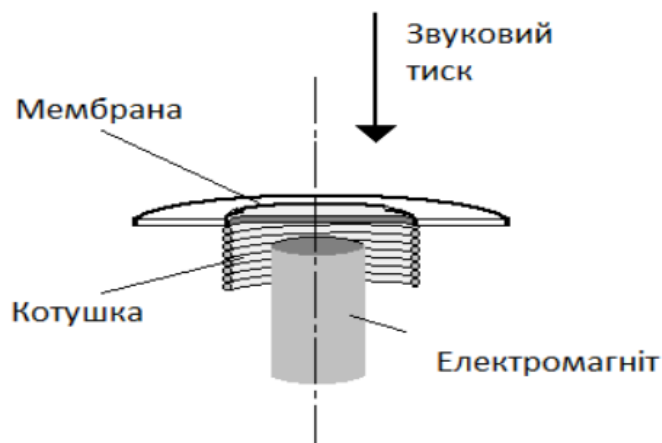


Рисунок 1.12. Мікрофон типу котушкового (динамічний)

Принцип роботи мікрофонів стрічкового типу (електродинамічного):

замінуючи котушку в магнітному полі знаходиться гофрована стрічка із алюмінієвої фольги. Принцип роботи аналогічний до котушкового.

Стрічковий мікрофон - це пристрій, який використовується для запису звуку, який складається із U-образного магніту та алюмінієвої гофрованої стрічки, яка розташована у прорізі, який магнітонапружений.

Стрічка із алюмінію створює ЕРС, знаходячись в магнітному полі та коливаючись, як повітря. Сигнал (електричний) із стрічки потрапляє на обмотку (первинну) трансформатора задля узгодження низького стрічкового опору. У стрічки з тильного боку розташовується та настраюється камера резонансу та наскрізна неналаштовуєма. Також існує система безкамерна з типом спрямованості "вісімка" [14].

Подібна будова сприяє точнішому запису діапазону високочастотного. Також даний тип мікрофонів має діаграму направленості двосторонню ("вісімка"), що підходить для стерео запису. Будова мікрофона стрічкового зображена на малюнку 1.13 [15].

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

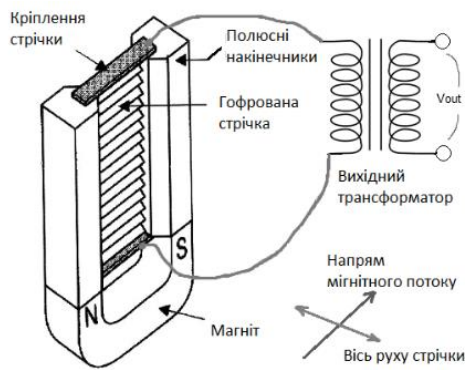


Рисунок 1.13. Електродинамічний мікрофон стрічкового типу

Основні переваги: Достатньо задовільні параметри електроакустики, маленькі габаритні розміри, невелика маса, досить проста конструкція та як результат дешевизна виробу, в звуковому діапазоні спотворення коливань незначні. Не вимагає додаткового джерела живлення. До механічних пошкоджень стійкий, вологості та температурних перепадів.

Основні недоліки: В силу своєї будови, даний тип мікрофонів більш вимогливий до умов зберігання, окрім того може мати досить невисокий поріг звукового тиску (верхнього). Зберігання на боці може призвести до того, що стрічка розтягнеться та робота мікрофона стане неможливою [12].

Мембранна чутливість та можливість працювати в штатному режимі з високими частотами менша ніж у конденсаторних [15].

Галузь у якій застосовується: Системи звукопідсилення та звукозапису телебачення, радіо, телефонія, музикальні передачі із студії [15].

1.3. Капсули мікрофонів

Ще одним з головних елементів мікрофону є його капсула, прямим завданням якої є формування напрямку з якого сприймається звукові хвилі. Капсула завжди містять у собі таку частину як мембрана – надтонка діафрагма, на яку впливають перепади тиску, викликані акустичними хвилями. В залежності від конструктивних особливостей капсули та мембрани, мікрофон може мати характеристики спрямованості різні.

Капсули мікрофонів по своїй будові можна розділити на відкритого, закритого, та комбінованого типів [20].

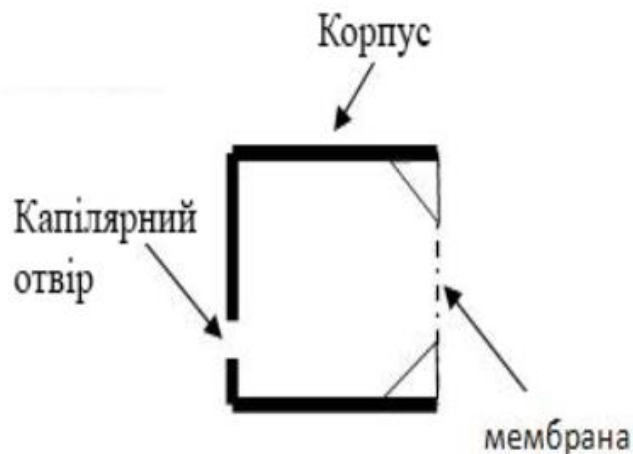
1.3.1. Капсула закритого типу

Капсула такого типу має вигляд металевого циліндру, однією з сторін якого являється мембрана. Всередині капсула нагнітається постійний тиск виходячи з того, що внутрішнє середовище повністю ізольоване від зовнішнього (якщо не брати до уваги капілярний отвір) та контактує з ним лише через тонку мембрану.

Вплив тиску зовні, створює звуковими хвилями коливання, змушують рухатися мембрану:

- Мембрана вгинається всередину капсули, якщо звукова хвиля переходить в свою позитивну фазу (тиск збільшується).
- Мембрана вигинається назовні капсули, якщо звукова хвиля переходить в свою негативну фазу (тиск зменшується).

Напрямок дії тиску в даній конструкції немає вагомого значення зважаючи на те, що єдиним необхідним фактором для її роботи є факт зміни тиску, а напрямок, не має значення. Мікрофони із використанням капсул даного типу мають однонапрявлену спрямованість.



1.14. Капсула закритого типу

1.3.2. Капсули відкритого типу

На відміну від закритої капсули відкритого типу побудовані так, що мембрана відкрита з обох сторін. В результаті звукові хвилі можуть діяти з усіх сторін, тим самим впливаючи на поведінку мембрани, яка залежить від напрямку хвилі.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того, щоб продемонструвати цей принцип, розглянемо декілька ситуацій:

- А. На рисунку 1.15.а можна побачити ситуацію проходження звукової хвилі з фронтального боку мембрани. Що призводить до прогину мембрани в результаті підвищення тиску, з цього слідує зниження тиску з іншої її сторони.
- Б. На рисунку 1.15.б маємо зворотній випадок, що демонструє надходження звукової хвилі з тильної сторони мембрани.
- В. На рисунку 1.15.в можемо спостерігати як звукова хвиля надходить збоку бачимо, що мембрана розвернута боком до фронту хвилі. Як результат отримуємо підвищення / пониження тиску з двох сторін, під таким впливом мембрана залишиться на тому ж місці. Як наслідок можна досягти двосторонньої направленості (так званої «вісімки»).

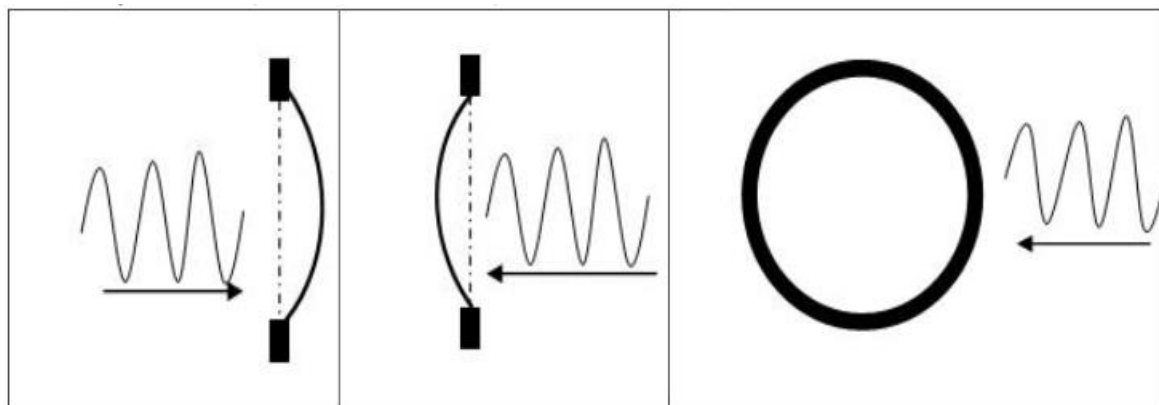


Рисунок 1.15. Напрямок дії звукових хвиль на мембрану (а, б, в відповідно)

1.3.3. Капсули комбінованого типу

Капсули комбінованого типу це капсули, які об'єднують в собі дві капсули, в одному корпусі. Перевагою такої будови являється можливість застосування характерних особливостей різних типів капсул при необхідності. Але змішуючи в деяких пропорціях сигнали із капсул (відкритого та закритого типів) можливо досягти характеристик спрямованості як: кардіоїда, гіпер та суперкардіоїда, що неодмінно мають переваги в деяких випадках [20].

1.4. Мембрана

Мембрана є одним із найважливіших компонентів конструкції мікрофона. Пояснюється це тим, що мембрана виступає чутливим елементом, який реагує на звукові хвилі, що надходять на неї. А її здатність сприймати широкий діапазон частотних коливань та, в нашому випадку, відбиваючі властивості сильно впливають на те, якої якості звучання буде мікрофон.

1.4.1. Вибір матеріалу мембрани

В старих моделях мікрофонів широко використовувалася надтонка фольга, але зараз почали ставити майларові мембрани. Такий матеріал дуже схожий на той, що застосовують для космічних апаратів. Через високі відбиваючі здібності, міцність та стійкість до великих температур, застосування майлару гарно відобразиться на якості виробу.

Зважаючи на те, що майлар краще відбиває УФ та ІЧ випромінювання, ніж та сама фольга, це особливо добре підходить до нашого випадку, тому що ми використовуємо лазер для зчитування звукових коливань з нашої мембрани, таким чином можна підвищити точність одержуваної інформації.

Також для підвищення вже описаних властивостей було вирішено нанести золоте напилення на мембрану з обраним матеріалом. Це підвищить вже високі відбиваючі властивості та стійкість до великих температур, які можуть досягатися при постійному УФ або ІЧ випромінюванні.

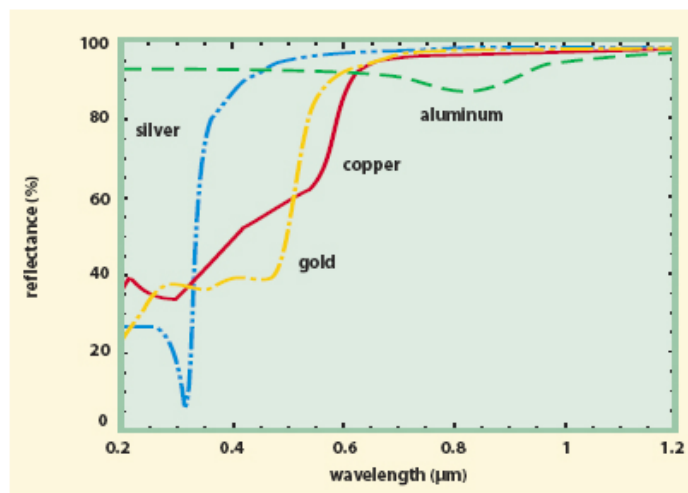


Рисунок 1.16. Графік залежності коефіцієнту відбиття від довжини хвилі

Як можна побачити на рисунку 1.16, всі чотири метали досить добре виконують функцію відбивання ІК випромінювання, з коефіцієнтом відбивання близьким до 100%. Але матеріалом для напилення було обране саме золото, бо застосування цього металу дасть можливість захистити мембрану від корозії, що неодмінно позитивно вплине на надійність мікрофону, як готового приладу.

1.4.2. Вибір розміру мембрани

Також слід звернути увагу на розмір мембрани, бо він впливає наскільки широкий діапазон частот вона зможе сприймати.

По розміру мембрани можна поділити на три групи із вузькою, середньою та широкою мембраною.

Мікрофони із широкою мембраною це масивні звукозаписні мікрофони, діаметр мембрани яких становить від 20 до 30 мм. Як правило, мають високу ціну і вимагають використання зовнішнього джерела живлення і підвіски. Великий розмір і необхідність підвіски не дозволяють застосовувати такі мікрофони, наприклад, для барабанів, де потрібно жорстка фіксація. У той же час, вони ідеально підходять для запису голосу і багатьох інших інструментів. У більшості випадків, мікрофони із широкою мембраною служать в якості студійних універсальних мікрофонів. Кращі їх моделі надзвичайно дороги. В останні роки на ринку з'явився цілий ряд недорогих мікрофонів із великою мембраною, конструкція яких імітує дорожчі аналоги, а їх якість цілком годиться для непрофесійної звукозапису [19].

Діаметр мембрани у таких мікрофонів становить 15 мм і менше. Можуть використовуватися як для звукозапису, так і для роботи з живим звуком. Рекомендується використовувати мікрофони із вузькою для відтворення високочастотних звуків і джерел з різко мінливою гучністю звуку. Часто встановлюються зверху над барабанними тарілками. Як і інші мікрофони, працюють від фантомного живлення або акумулятора [19].

Якщо коротко, то малі мембрани (< 15 мм) з високою точністю реагують на високі частоти. Це пов'язано із досить високою чутливістю до навіть незначних коливань повітря. Великі (20-30 мм) виділяються високою чутливістю, що

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насамперед пов'язано із великою площею самої поверхні мембрани. Можна виділити деякі зміни у звучанні мікрофонів з такою мембраною – він стає більш «глибоким» та «теплим». Але з'являється недолік у вигляді можливої появи відлуння. А середні, в якійсь мірі, поєднують в собі характеристики обох видів. Для створення прототипу буде використовуватися мембрана діаметром 30 мм.

Для застосування у конкретних цілях рекомендується обирати між вузькими та широкими мембранами.

1.4.3. Кріплення мембрани у корпусі

Також важливим конструкторським рішенням буде вибір кріплення мембрани до капсуля мікрофону. Вибір оптимального кріплення допоможе забезпечити не тільки надійність фіксації, але ще й допоможе значно розширити діапазон частот, яку буде сприймати мембрана.

Одним із варіантів кріплення являється гвинтове. Такий спосіб надає можливість жорстко зафіксувати мембрану до корпусу капсуля, що не дозволить мембрані створювати похибки незалежні від звукового тиску. Але такий варіант програє у сприйнятті частот в порівнянні з більш виграшним способом кріплення, а саме встановлення мембрани на резиновий підвіс.

Для кріплення мембрани також може бути обраний резиновий підвіс, який може забезпечити таку ж надійну фіксацію на капсулі, як і на гвинтах, при правильному підході до вибору клею для з'єднання на якому буде триматися конструкція. Також такий підхід дозволить збільшити хід мембрани, що насамперед сприяє розширенню спектру частот, який буде сприймати мембрана. Таким чином майларова мембрана буде мати кріплення на капсулі мікрофона, яке буде схоже з динаміком у колонках.

Склеювати підвіс слід спеціальними призначеними для цього клейкими речовинами.

Склеювання буде виконуватися за допомогою однокомпонентного універсального високоякісного швидковисихаючого клею на основі неопренового каучуку «Akfix 202». Даний клей використовується для

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

професійного ремонту та збирання аудіоконструкцій. Серед багатьох видів клейких речовин був обраний саме цей через те, що він може проклеювати різноманітні матеріали які будуть використовуватися у конструкції мікрофону: метал, пластик, резина та інші, а також має непогані еластичні властивості.

Серед інших переваг:

- швидковисихаючий;
- утворюється міцне і гнучке з'єднання;
- морозостійкий;
- водостійкий;
- термостійкий;
- маслостійкий.

1.4.4. Фізичні параметри майлару

Густина майлару $\rho = 1344 \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$

Межа міцності при розтягуванні $\sigma = 1,72 * 10^8$ [Па]

Модуль пружності при розтягуванні $E = 1,41 * 10^{10}$ [Па]

Коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,34$

Температура плавлення $t_{\text{пл}} = 250 - 265$ [°C]

Температура розкладання $t_{\text{роз}} = 350$ [°C]

Відносне подовження при розриві 12 – 55 [%]

1.4.5. Вихідні дані для розрахунку мембрани

Товщина мембрани $h = 1.4 * 10^{-5}$ [м]

Радіус мембрани $R = 0,015$ [м]

Сила натягу мембрани $\varepsilon = 20$ [Н]

Тиск на мембрану $P = 200$ [Па]

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

1.5.6. Розрахунок майларової мембрани

Прогиб в центрі мембрани при поточному радіусі $r=0$:

$$\omega = \frac{PR^4}{64D} \quad (1.1)$$

де D – циліндрична жорсткість мембрани, P – тиск, що діє на мембрану, R – радіус мембрани.

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad (1.2)$$

E – модуль пружності, h – товщина мембрани, μ – коефіцієнт Пуассона.

Таким чином циліндрична жорсткість мембрани:

$$D = \frac{(1.41 * 10^{10}) * (1.4 * 10^{-5})^3}{12 * (1 - 0,34^2)} = 3,646 * 10^{-6} \left[\frac{\text{Н}}{\text{М}} \right]$$
$$\omega = \frac{(200 * 0.015^4)}{64 * (3,646 * 10^{-6})} = 0.043395 \text{ [м]}$$

Використовуючи теорію енергії формозміни, можна розрахувати еквівалентну напругу мембрани в її точках:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \quad (1.5)$$

де σ_1 і σ_2 – головні напруги.

В центрі мембрани головні напруги:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{3(1 + \mu)}{8} \cdot \frac{PR^2}{h^2} \quad (1.6)$$

$$\sigma_{\text{екв}} = \left(\frac{3(1+\mu)}{8} \right) * \frac{PR^2}{h^2} \quad (1.7)$$

По зовнішньому радіусу мембрани:

$$\sigma_1 = \sigma_r = \frac{3}{4} \frac{PR^2}{h^2} \quad \sigma_2 = \sigma_\tau = \mu \frac{3}{4} \frac{PR^2}{h^2} \quad (1.8)$$

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{3}{4} * \frac{PR^2}{h^2} \sqrt{1 - \mu + \mu^2} \quad (1.9)$$

Виходячи з цього, точка у заделки мембрани буде небезпечною. З умови міцності можна визначити значення допустимого тиску:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{3}{4} * \frac{PR^2}{h^2} * \sqrt{1 - \mu + \mu^2} \leq [\sigma] \quad (1.10)$$

Підставивши свої значення отримаємо еквівалентну напругу з головними напругами в центрі:

$$\sigma_{\text{екв}} = \left(\frac{(3(1 + 0,34))}{8} \right) * \frac{200 * 0.015^2}{(1.4 * 10^{-5})^2} = 1.154 * 10^8 \text{ [Па]}$$

Еквівалентна напруга з головними напругами по зовнішньому радіусу мембрани:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{3}{4} * \frac{200 * 0.015^2}{(1.4 * 10^{-5})^2} \sqrt{1 - 0,34 + 0,34^2} = 1.516 * 10^8 \text{ [Па]}$$

Звідси допустимий тиск:

$$P_{\text{дон}} = 1.5[\sigma] \frac{h^2}{R^2} \quad (1.13)$$

$$P_{\text{дон}} = 1.5 * (1,72 * 10^8) * \frac{(1.4 * 10^{-5})^2}{0.015^2} = 224.747 \text{ [Па]}$$

Також з умови міцності можна визначити значення допустимого прогину за формулою:

$$(\omega_0)_{\text{дон}} = 0.256[\sigma] \frac{R^2}{Eh} \quad (1.15)$$

$$(\omega_0)_{\text{дон}} = 0.256 * (1,72 * 10^8) * \frac{0.015^2}{(1.41 * 10^{10}) * (1.4 * 10^{-5})} = 0.05 \text{ [м]}$$

Тепер визначимо частоту власних коливань:

$$f = \frac{10.21}{2\pi R^2} \sqrt{\frac{D}{\rho h}} \quad (1.17)$$

ρ – густина матеріалу.

$$f = \frac{10.21}{2\pi * 0.015} \sqrt{\frac{3.646 * 10^{-6}}{1335 * (1.4 * 10^{-5})}} = 100.866 \text{ [Гц]}$$

Із ще однієї формули частоти можемо визначити кругову частоту власних коливань:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (1.19)$$

ω – кругова частота.

$$\omega = 2\pi f \quad (1.20)$$

$$\omega = 2\pi * 100.866 = 633.761 \text{ [Гц]}$$

Звідси можемо отримати період коливань, якщо казати іншими словами, то тривалість повного коливання:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.22)$$

$$T = \frac{2\pi}{633.761} = 0.01 \text{ [с]}$$

1.5. Лазер

Наступною важливою складовою конструкції лазерного мікрофона виступає сам лазер.

Лазер або оптичний квантовий генератор - це пристрій, що перетворює енергію накачування (світлову, електричну, теплову, хімічну та ін.) в енергію когерентного, монохроматичного, поляризованого і вузьконаправленого потоку випромінювання.

Також слід пам'ятати про те, що лазери досить чутливі до зміни напруги живлення, бо навіть несуттєві відхилення від зазначеної виробником можуть призвести до його виходу з ладу. Тому потрібно приділити особливу увагу цій складовій.

1.5.1. Вибір лазеру

Для конструкції був обраний лазер «ADL-78051TL» з довжиною хвилі 770 – 795 нм вихідною потужністю 5 мВт. Вибір пав на цей лазер, так як матеріалом мембрани було обрано майлар із золотим напиленням. На малюнку 1.16 проілюстрована залежність коефіцієнту відбиття від довжини хвилі, а саме те, що коефіцієнт наближається до 100% тільки при довжині від 700 нм, що дозволить зчитувати більш точну інформацію від коливань мембрани.

1.6. Фотоприймач

Принцип дії фотоприймача заснований на конвертації оптичного сигналу у електричний. Вони також діляться на дві групи: фотонні та теплові. Нас цікавлять саме фотонні. Такі приймачі, в свою чергу, розділяють на фотодетектори, які базуються на зовнішньому та внутрішньому фотоефекті. З них обираємо другі (фотодіоди, фоторезистори та фототранзистори).

1.6.1. Фотоприймачі на внутрішньому фотоєфекті

Фоторезистор – прилад, який змінює свою провідність (опір) в залежності від кількості того світла, що падає на його поверхню. Чим більш інтенсивною буде освітленість чутливої області, тим менший буде опір. Його схематичне зображення представлено на малюнку 1.17.

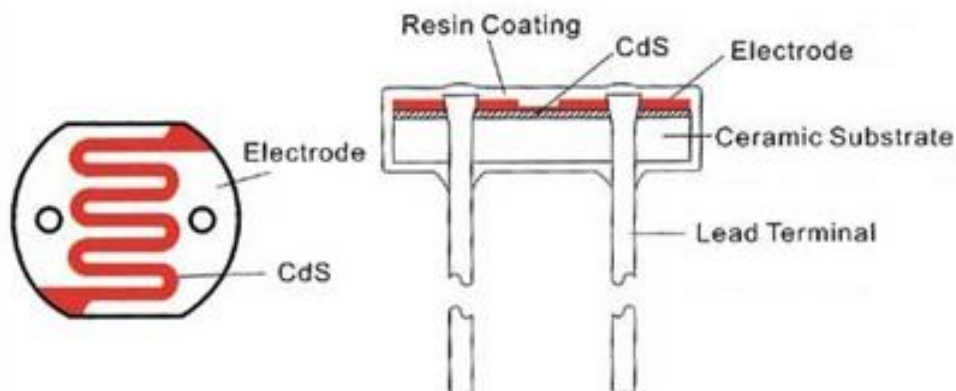


Рисунок 1.17. Схематичне зображення фоторезистору

Його конструкція складається з двох металевих електродів, поміж якими розташовується напівпровідниковий матеріал. У випадку потрапляння світлового потоку на напівпровідник, всередині вивільняються носії заряду, що сприяє проходженню струму поміж електродами.

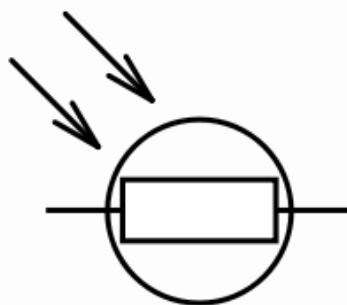


Рисунок 1.18. Дія світлового потоку на напівпровідник

Енергія світлового потоку витрачається на подолання електронами забороненої зони і їх переходу в зону провідності. Як напівпровідника у фоторезисторів використовують матеріали типу: Сульфід Кадмію, Сульфид свинцю, Гіпс Кадмію та інші. Від типу цього матеріалу залежить спектральна характеристика фоторезистора [21].

Фотодіод – це елемент, який конвертує світло, яке надходить до чутливої зони, в електричний заряд. Цей процес відбувається через те, що при потраплянні світла в р-п переході проходять різноманітні процеси, які пов'язані із переміщенням носіїв заряду.

Якщо на фоторезисторі змінювалася провідність через рух носіїв заряду в напівпровіднику, то тут відбувається утворення заряду на кордоні р-п переходу. Він може працювати в режимі фотоперетворювача і фотогенератора [21].

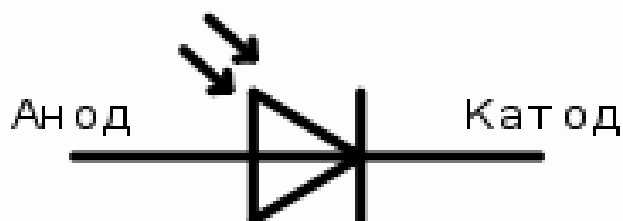


Рисунок 1.19. Дія світлового потоку на р-п перехід

Фототранзистор - це за своїм принципом дії біполярний транзистор в якому замінили виведення бази на віконце у корпусі для потрапляння туди світлового потоку. Причини такого ефекту та принцип роботи аналогічний із приладами, які були до цього розглянуті. Біполярні транзистори керуються кількістю струму, який проходить через базу, за аналогією фототранзистори керуються кількістю світла, яке падає на чутливу зону.

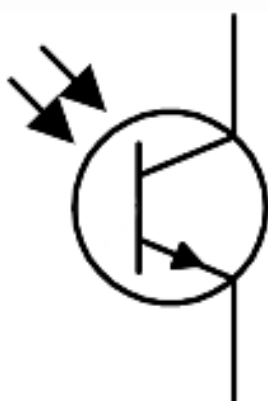


Рисунок 1.20. Дія світлового потоку на чутливий елемент (віконце)

1.6.2. Вибір фотоприймача

У конструкції, яку було вирішено будувати, а саме найпростіший варіант, який був розглянутий у пункті 1.2, буде доцільним використовувати матрицю з довжиною, яка обирається в залежності від відхилення відбитого променя від мембрани при максимальному прогині центра під звуковим тиском в 140 дБ.

Також потрібно забезпечити динамічний діапазон в 24 біт. Для цього необхідно обрати або сконструювати чорно-білу матрицю, яка буде мати кількість пікселів рівною 2^{24} .

Ще одною перевагою застосування матриці замість, наприклад, фотодіода є те, що сигнал буде не аналоговим, а одразу цифровим.

1.6.3. Вихідні дані для розрахунку матриці

Висота від лінзи лазера до мембрани $a = 200$ [мм]

Максимальний прогин мембрани $\omega = 43.395$ [мм]

Кут між падаючим на мембрану та відбитим променем $\beta = 15^\circ$

Кількість пікселів по довжині $p = 1.678 * 10^7$ [px]

1.6.4. Розрахунок довжини матриці

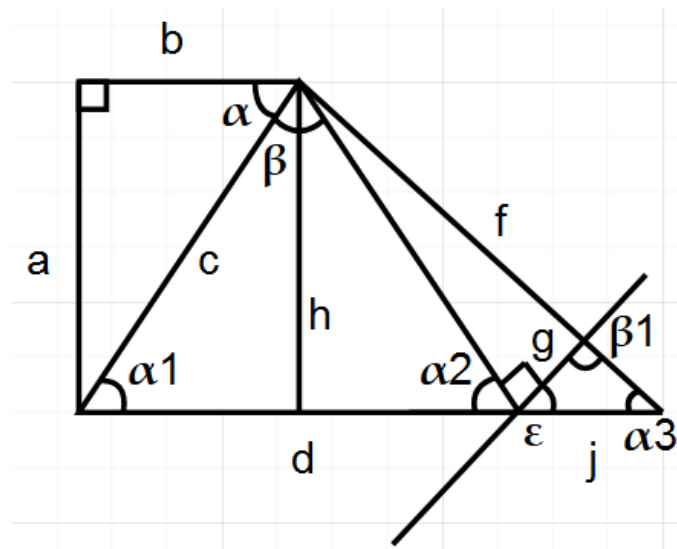


Рисунок 1.21. Схематичне зображення відстаней між лазером, мембраною та матрицею

Для того, щоб знайти відстань від лінзи лазера до центру мембрани c , потрібно визначити кут α :

$$\alpha = \frac{(180^\circ - 15^\circ)}{2} = 82.5^\circ$$

Так як пряма c - гіпотенуза, а b – катет, ми можемо їх знайти за формулами:

$$c = \frac{a}{\sin(\alpha)} \quad (1.25)$$

$$b = \frac{a}{\tan(\alpha)} \quad (1.26)$$

де a – висота від лінзи лазера до мембрани.

$$c = \frac{200}{\sin(82.5^\circ)} = 201.726 \text{ [мм]}$$

$$b = \frac{200}{\tan(82.5^\circ)} = 26.33 \text{ [мм]}$$

Далі потрібно розрахувати відстань між лінзою лазера та умовним центром матриці d :

$$d = c\sqrt{2 - 2\cos(\beta)} \quad (1.29)$$

$$d = 201.726\sqrt{2 - 2\cos(15^\circ)} = 52.661 \text{ [мм]}$$

Висота h від центра мембрани до прямої d дорівнює a . При максимальному прогині мембрани h зменшиться на величину ω цього прогину:

$$h = a - \omega \quad (1.31)$$

$$h = 200 - 43.395 = 156.605 \text{ [мм]}$$

Прирівняємо a до h для опрацювання відхилення променя при максимальному прогині.

Для знаходження довжини c при змінній висоті та тих же кутах, бо кут α_1 залишається незмінним, за формулами 1.25, 1.26 маємо:

$$c = \frac{156.605}{\sin(82.5^\circ)} = 157.956 \text{ [мм]}$$

$$b = \frac{156.605}{\tan(82.5^\circ)} = 20.617 \text{ [мм]}$$

Для ідеального варіанту при якому мембрана по всій площині прогинається однаково та при тому, що трикутник залишається рівнобедреним:

$$\alpha_3 = \alpha_1 = \alpha_2 = 82.5^\circ$$

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$\beta = 15^\circ$$

$$f = c = 157.956 \text{ [мм]}$$

Скористаємося формулою 1.29 для знаходження нової прямої dj:

$$dj = 157.956 \sqrt{2 - 2 \cos(15^\circ)} = 41.235 \text{ [мм]}$$

Тепер потрібно визначити параметри, які допоможуть знайти довжину відхилення відбитого променя на матриці. Виходячи з того, що матриця стоїть перпендикулярно до нього отримаємо:

$$\varepsilon = 180^\circ - 90^\circ - \alpha_2 \quad (1.39)$$

$$\varepsilon = 180^\circ - 90^\circ - 82.5^\circ = 7.5^\circ$$

$$\beta_1 = 180^\circ - \varepsilon - \alpha_3 \quad (1.41)$$

$$\beta_1 = 180^\circ - 7.5^\circ - 82.5^\circ = 90^\circ$$

$$j = d - dj \quad (1.43)$$

$$j = 52.661 - 41.235 = 11.426 \text{ [мм]}$$

Використовуючи теорему синусів для знаходження відхилення променя на матриці маємо:

$$g = j \frac{\sin(\gamma)}{\sin(\beta_2)} \quad (1.45)$$

$$g = 23.255 \frac{\sin(82.5^\circ)}{\sin(90^\circ)} = 11.328 \text{ [мм]}$$

Отже, довжина матриці повинна складати $2g \sim 24$ мм, щоб ловити відхилення відбитого променя, а висота при відношенні сторін 16:9 – 13.5 мм.

1.6.5. Розрахунок пікселів на матриці

На одну долю, при відношенні сторін матриці 16:9, отримаємо наступну кількість пікселів:

$$d_{\text{пкс}} = \frac{p}{16} \quad (1.47)$$

де p – кількість пікселів по довжині.

$$d_{\text{пкс}} = \frac{1.678 * 10^7}{16} = 1.049 * 10^6 \text{ [px]}$$

$$h_{\text{пкс}} = d_{\text{пкс}} * 9 \quad (1.49)$$

$h_{\text{пкс}}$ – кількість пікселів по висоті.

					ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

$$h_{\text{пiкс}} = 1.049 * 10^6 * 9 = 9.437 * 10^6 \text{ [px]}$$

За теоремою Піфагора можемо порахувати діагональ:

$$b = \sqrt{a^2 * h^2} \quad (1.51)$$

a – довжина матриці, h – висота матриці.

$$b = \sqrt{24^2 * 13.5^2} = 27.536 \text{ [мм]}$$

Знаючи діагональ та кількість пікселів по висоті і ширині можемо розрахувати кількість пікселів на см:

$$PPC = \frac{\sqrt{a_{\text{пiкс}}^2 + h_{\text{пiкс}}^2}}{b} \quad (1.53)$$

$$PPC = \frac{\sqrt{(1.074 * 10^7)^2 + (6.04 * 10^6)^2}}{27.536} = 6.991 * 10^5 \left[\frac{\text{px}}{\text{cm}} \right]$$

1.7. Призма

Якщо буде вирішено використовувати розгалужувач променю задля зменшення габаритів мікрофону та відмови від необхідності ретельної юстировки фотоприймача у корпусі – маємо за необхідне використовувати призму (розгалужувач).

1.7.1. Вибір матеріалу призми

Необхідно підібрати матеріал призми виходячи з того, якої довжини хвиля ІК випромінювання. Також потрібно зважати на який кут потрібно заломлювати промінь, в нашому випадку цей кут становить 90°.

Діапазон спектра, який використовується залежить від ступеня прозорості оптичних деталей для нього, тобто від їх якості та матеріалу. Він також обмежується і конструкційними особливостями кожного типу приладів. В призматичних приладах як правило застосовують призми з деяких сортів оптичного скла або кварцу. Решту оптичних деталей обирають в залежності від матеріалу призми. В приладах дифракційних їх підбирають у відповідності до області спектра, що досліджується.

В видимому, ближньому інфрачервоному та ультрафіолетовому діапазоні

спектра для виготовлення оптичних деталей (віконцець, призм та тому подібного) досить широко застосовується плаваний та кристалічний кварц. Даний матеріал добре піддається обробці, стійкий до впливів із ззовні, але й досить дорогий. Через це у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні (від 350 нм до 2,5 мкм) як правило застосовують оптичне скло, який наразі існує у великій різноманітності.

В конструкції нашого мікрофону будемо використовувати призму із кристалічного кварцу. Показник заломлення n для даного матеріалу в діапазоні від 589 нм до 1083 нм – становить 1.544 – 1.534. Кристалічний кварц забезпечує високий коефіцієнт пропускання для довжини хвилі обраного лазера, що можна побачити на рисунку 1.22.

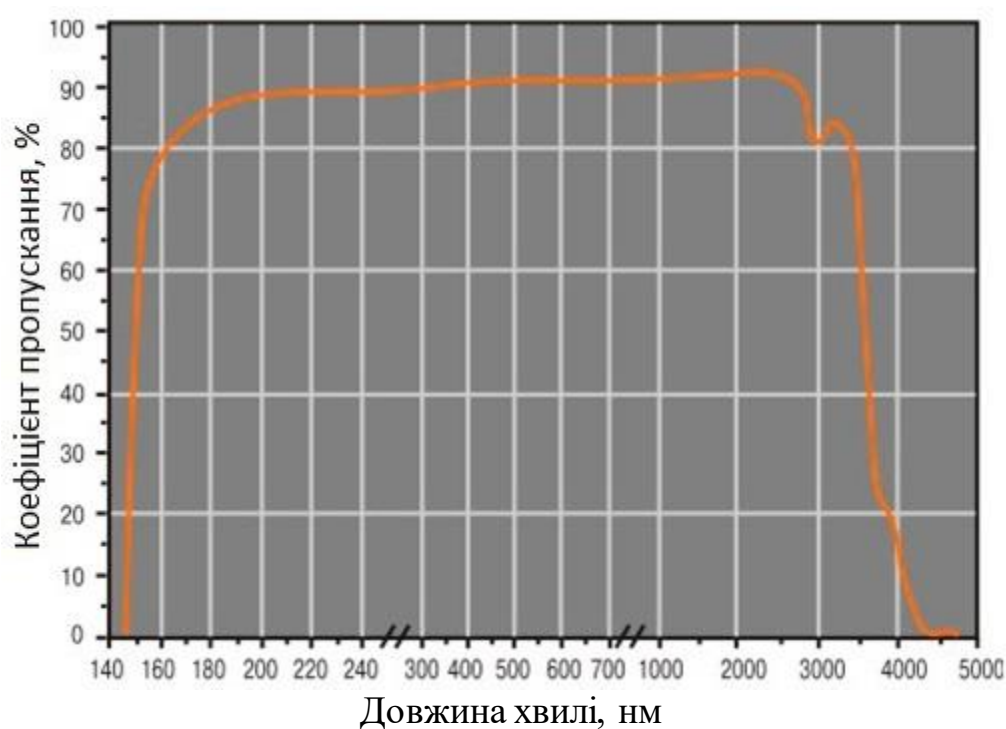


Рисунок 1.22. Графік залежності коефіцієнту пропускання від довжини хвилі для кристалічного кварцу

В розрахунку на те, що буде використовуватися одна робоча довжина хвилі та задля збільшення пропускання світла оптичного елемента буде нанесене покриття, що просвітлює на одну довжину хвилі знижуючи залишкове відображення від поверхонь деталі. Графік залежності відбиття від довжини

хвилі для покриття, що просвітлює наведений на рисунку 1.23.

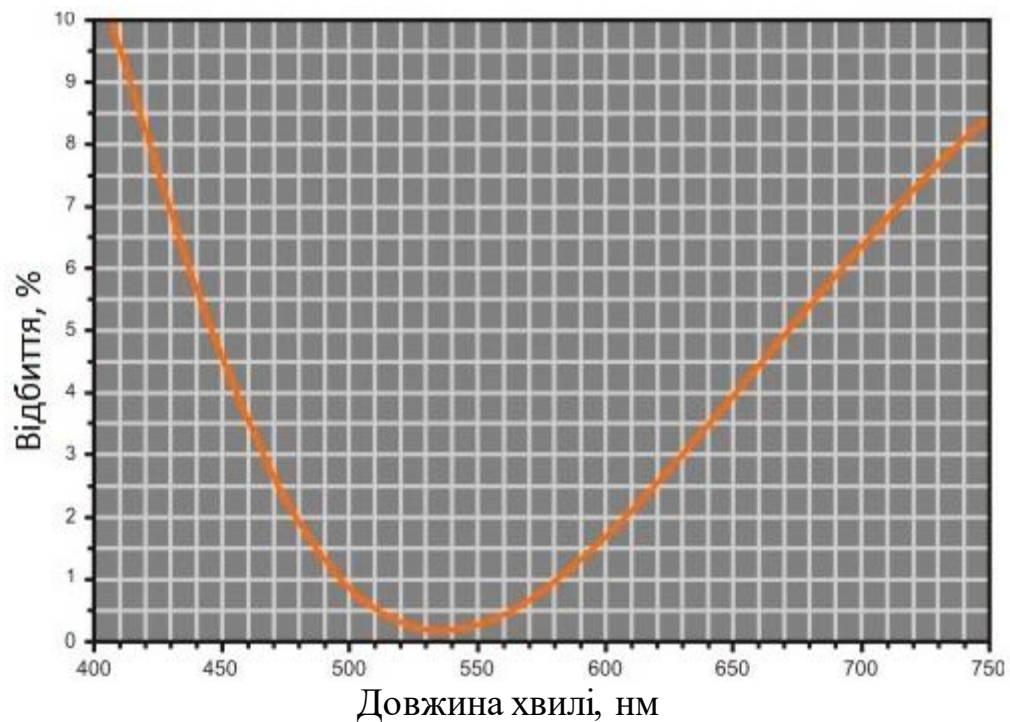


Рисунок 1.23. Залежність відбиття від довжини хвилі при застосуванні покриття, що просвітлює

ВИСНОВКИ ДО ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКОГО РОЗДІЛУ

Проведений огляд вже існуючих типів лазерних акустичних систем та їх будову з яких було обрано перший варіант, який виявився простішим для конструювання.

Розглянутий принцип роботи мікрофонів різного типу, що ілюструє можливість об'єднати у лазерному переваги інших видів мікрофонів. Погляд на конструкційні особливості решти мікрофонів дало можливість перейняти деякі інженерні рішення для нашого приладу.

Було обрано майларову мембрану із золотим напиленням, яка забезпечить найбільш оптимальні відбиваючі характеристики у розрахунку на те, що застосовується лазер, як спосіб збирання аудіо інформації з неї. Мембрана може бути підвішена на резиновий підвіс, який допоможе збільшити амплітуду коливань, як наслідок збільшить діапазон частот, що сприймає мембрана. Також підібраний діаметр мембрани.

Лазер підібраний із довжиною хвилі ІК випромінювання діапазоном 770 – 795 нм та вихідною потужністю 5 мВт в огляді на відбиваючі властивості мембрани для збирання з неї максимально можливої інформації.

Розібрані види фотоприймачів. Також розрахована матриця для зчитування інформації з відбитого променя.

Проведений вибір матеріалу призми, яким став кристалічний кварц. В розрахунку на те, що буде використовуватися одна робоча довжина хвилі буде нанесене покриття, що просвітлює на одну довжину хвилі знижуючи залишкове відображення від поверхонь деталі. Як результат збільшиться пропускання світла призмою.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вибір технологічної одиниці

Технологічний розділ обґрунтовує виготовлення та проектування лазерного мікрофону, який може мати переваги в порівнянні з іншими мікрофонами.

Також потрібно провести аналіз лазерного мікрофону для технічного завдання, зробити оцінку технологічної складальної одиниці, визначення основних та додаткових показників технологічності.

Складальною одиницею представляється лазерний мікрофон, який складається з лазерного діода, матриці, мембрани, кришки, корпусу з двох частин та гвинтів (8 шт.). Загальна кількість деталей в складальній одиниці – 14.

2.2. Визначення основних показників технологічності

Абсолютний показник трудомісткості виготовлення виробу $T_{и}$ визначається сумою нормо-часів, які були затрачені на виготовлення виробу:

$$T_{и} = \sum T_i \quad (2.1)$$

де T_i - трудомісткість виготовлення та іспитів i -ої складальної одиниці в нормо-годинах [22].

В конструкції рівень технологічності по трудомісткості виготовлення $K_{у.т.}$ можливо розрахувати як відношення досягнутої трудомісткості $T_{и}$ ($T_{и} = 10$) до базового показника аналогу [23] $T_{б.и.}$ ($T_{б.и.} = 13$ нормо-годин):

$$K_{у.т.} = \frac{T_{и}}{T_{б.и.}} \quad (2.2)$$

$$K_{у.т.} = \frac{10}{13} = 0.77$$

Собівартість виробу (технологічна) C_T можна визначити як суму витрат на одну одиницю виробу:

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_T = C_M + C_3 + C_{ц.р.} \quad (2.4)$$

де C_M – вартість матеріалу на одну одиницю виробу (грн.);

C_3 - заробітна платня працівника з нарахуваннями (грн.);

$C_{ц.р.}$ - витрати в цеху на: тепло, електроенергія, амортизація, ремонт.

$C_M = 320$ грн.; $C_3 = 450$ грн.; $C_{ц.р.} = 110$ грн. Тоді підставивши свої значення бачимо, що технологічна собівартість буде складати:

$$C_T = 320 + 450 + 110 = 880 \text{ грн.}$$

В конструкції рівень технологічності по собівартості (технологічній) $K_{у.с.}$. Можна визначити як відношення собівартості досягнутої C_T до собівартості технологічної базового виробу $C_{б.т.}$ ($C_{б.т.} = 1630,0$ грн.):

$$K_{у.с.} = \frac{C_T}{C_{б.т.}} \quad (2.6)$$

$$K_{у.с.} = \frac{880}{1630} = 0.54$$

2.3. Визначення додаткових показників технологічності

Для знаходження коефіцієнту уніфікації виробу K_y маємо:

$$K_y = (E_y + D_y) / (E + D) \quad (2.8)$$

де E_y – складальні одиниці (уніфіковані) у виробі;

D_y – кількість деталей (уніфікованих), складові частини які не потрапили в E_y ;

E - число складальних одиниць (загальне);

D - число деталей у виробі (загальне);

В нашому випадку маємо: $E_y = 2$; $D_y = 8$; $E = 5$; $D = 8$.

$$K_y = \frac{2 + 8}{5 + 8} = 0.77$$

Для коефіцієнту уніфікації складальних одиниць $K_{у.с.}$ маємо відношення кількості складальних одиниць уніфікованих до кількості загальної складальних одиниць у виробі:

					ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$K_{y.c.} = \frac{E_y}{E} \quad (2.11)$$

$$K_{y.c.} = \frac{2}{5} = 0.4$$

Щоб визначити коефіцієнт уніфікації деталей виробу $K_{y.d.}$ застосовуємо відношення кількості деталей уніфікованих до числа загального деталей у виробі:

$$K_{y.d.} = \frac{D_y}{D} \quad (2.13)$$

$$K_{y.d.} = \frac{8}{8} = 1$$

2.4. Визначення комплексного показника технологічності виробу

Комплексний показник технологічності конструкції характеризує не окремі часткові ознаки технологічності, а характерну групу ознак технологічності конструкції [22].

Методика визначення комплексного показника враховує різну економічну ефективність часткових показників шляхом введення коефіцієнтів економічної ефективності K_3 часткових показників технологічності виробів. Цей коефіцієнт доцільно обмежити $0 < K_3 \leq 1$. При цьому коефіцієнт економічної ефективності буде визначатися з умови $\sum K_3 \leq 1$ [22].

Комплексний показник технологічності можна визначити за формулою:

$$K = \frac{\sum K_i K_{i3}}{K_{i3}} \quad (2.15)$$

де K_i — показник технологічності частинний;

K_{i3} - коефіцієнт еквівалентності економічної і-го частинного показника.

$$K = \frac{0.77 * 0.5 + 0.54 * 0.25 + 0.4 * 0.1 + 1 * 0.1 + 0.77 * 0.05}{0.25 + 0.5 + 0.1 + 0.05 + 0.01} = 0.6985$$

$K = 0.6985 > 0.5$, виріб технологічний та придатний до виробництва.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5.Схема складального складу

Початковим етапом на шляху технології складання є зображення ССС (схеми складального складу). Вона ілюструє структурну схему прилада та число складальних одиниць, а також використовується як комплектуюча карта при збірці. Розробляння даної схеми надає можливість визначитись з конструктивними та складальними елементами приладу, їх взаємозв'язок та представити проект технологічності процесу складання.

Схема складального складу використовується також для синтезу і аналізу одиниці складальної або в цілому приладу. Але така схема не надає розуміння про послідовність складання та засоби забезпечення з'єднання. На рис. 2.5.1 зображена схема складального складу.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

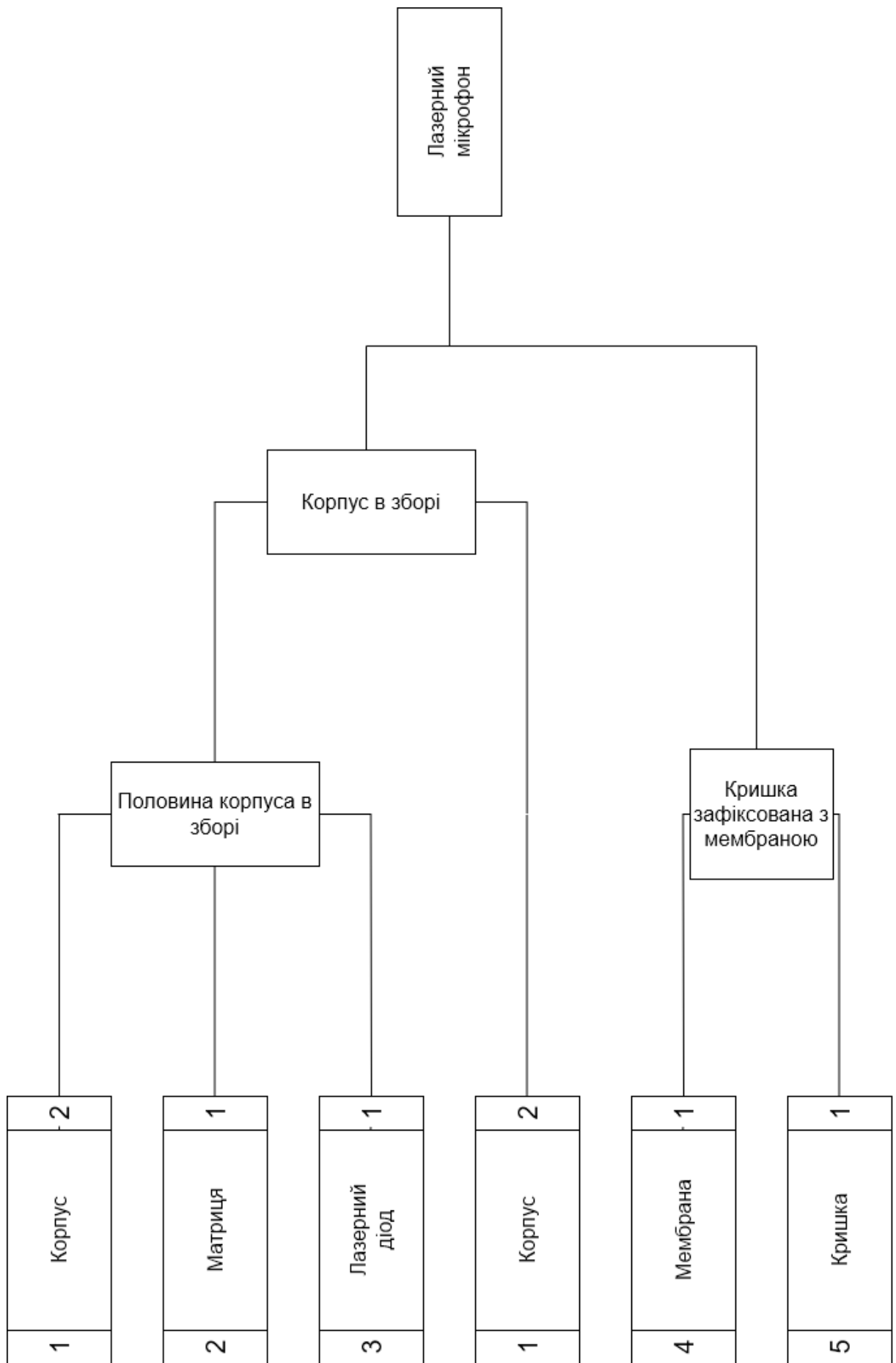


Рисунок 2.1. Схема складального складу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ

Арк.

55

2.6. Технологічна схема складання

Технологічна схема складання зображується для розуміння повного процесу складання. Дана схема демонструє з чого потрібно починати складання, в якій послідовності та які подавати деталі на складальні одиниці та складання. Базову деталь, з якої починається процес складання назначає технолог-складальник, який складає схему. Порядком подачі деталей та одиниць складальних на складання назначаються операції, а також проектується і сам процес з його розділенням на операції та переходи (складальні).

На рис. 2.6.1 проілюстрована технологічна схема складання для складальної одиниці лазерний мікрофон. Ця схема лежить в основі складання технологічного процесу складання.

Операційна технологічна карта представляє собою досконалу розробку кожної технологічної операції з урахуванням її елементів відповідно до технологічної схеми складання. Операційний технологічний процес представлено у вигляді послідовності переходів. Кожній крапці на лінії складання відповідає свій перехід [22].

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

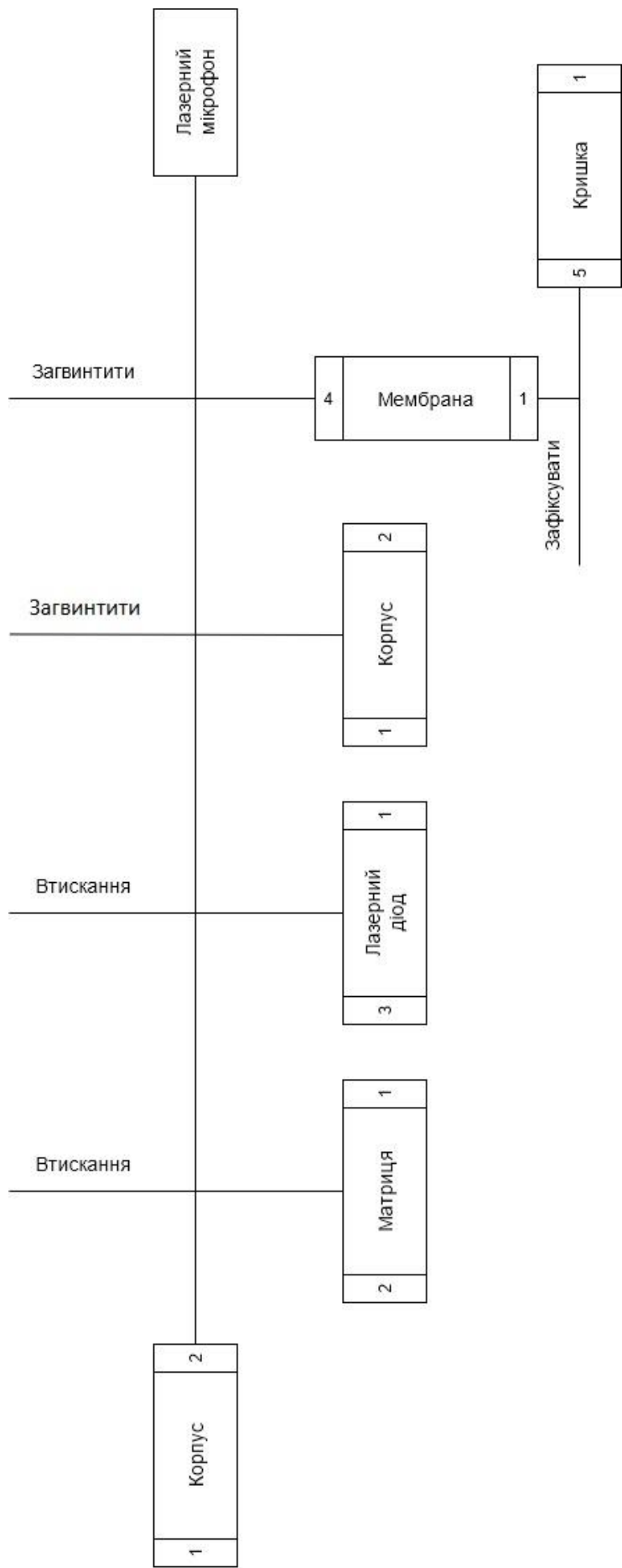


Рисунок 2.2. Технологічна схема складання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ

2.7. Розрахунок геометричної точності складання

Є вимоги до конструкції по точності їх показників, яка обґрунтовується технологією виготовлення деталей, способом складання приладу та справедливим вибором схеми принципової. Основна ідея технологічності конструкції полягає в взаємозамінності деталей та складальних одиниць.

Таблиця 2.1. Номінальні розміри ланок та їх допустимі відхилення

Ланка	Номінальний розмір, мм	Допуск, мм	Тип ланки
A1	51	-0.05	Збільшуюча
A2	267	-0.21	Збільшуюча
A3	194.26	-0.1	Зменшуюча
A4	26	-0.06	Зменшуюча
A5	35.74	-0.15	Зменшуюча
A6	40	-0.06	Зменшуюча

Розрахунок номінального розміру вихідної ланки здійснюється по формулі:

$$A_{\Delta} = \sum A_{i \text{ збіл}} - \sum A_{i \text{ зменш}} \quad (2.17)$$

$$A_{\Delta} = 51 + 267 - 194.26 - 35.74 - 40 - 26 = 22 \text{ [мм]}$$

Розрахунок допуску замикаючої ланки у випадку повної взаємозамінності:

$$\delta_{\Delta} = \sum_{i=1} |\delta_i| \quad (2.19)$$

$$\delta_{\Delta} = 0.05 + 0.21 + 0.1 + 0.06 + 0.15 + 0.06 = 0.63 \text{ [мм]}$$

Середина поля допуску замикаючої ланки $K_i = \delta_i/2$.

$$K_{\Sigma} = \sum K_{i \text{ збіл}} - \sum K_{i \text{ зменш}} \quad (2.21)$$

$$K_{\Sigma} = -0.025 - 0.105 - (-0.05 - 0.03 - 0.075 - 0.03) = 0.055 \text{ [мм]}$$

Розрахунок верхнього та нижнього відхилення розміру допуску замикаючої ланки:

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0.5 * \delta_{\Delta} \quad (2.23)$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0.5 * \delta_{\Delta} \quad (2.24)$$

$$\delta_{\Delta B} = 0.055 + 0.5 * 0.63 = 0.37 \text{ [мм]}$$

$$\delta_{\Delta H} = 0.055 - 0.5 * 0.63 = -0.26 \text{ [мм]}$$

Для повної взаємозамінності, маємо наступні розміри замикаючої:

$$A_{\Delta} = 22^{+0.37}_{-0.26} \text{ [мм]}$$

Розрахунок допуску замикаючої ланки методом неповної взаємозамінності.

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} * 3 * \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\delta_i)^2} \quad (2.28)$$

$$\delta_{\Delta} = \frac{1}{3} * 3 * \sqrt{\sum_{i=1}^5 (0.05 + 0.21 + 0.1 + 0.06 + 0.15 + 0.06)^2}$$

$$= 1.409 \text{ [мм]}$$

Враховуючи коефіцієнти для відносного розсіювання розмірів значення для ланок яких дорівнюють $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$, розрахуємо середину поля розсіювання замикаючої ланки:

$$K_3 = K_1 + 0.5 * \alpha_1 * \delta_1 + K_2 + 0.5 * \alpha_2 * \delta_2 -$$

$$- \left[(K_3 + 0.5 * \alpha_3 * \delta_3) + (K_4 + 0.5 * \alpha_4 * \delta_4) + (K_5 + 0.5 * \alpha_5 * \delta_5) + (K_6 + 0.5 * \alpha_6 * \delta_6) \right] \quad (2.30)$$

$$K_3 = -0.025 + 0.5 * 0 * (-0.05) + -0.105 + 0.5 * 0 * (-0.21) -$$

$$- \left[(-0.05 + 0.5 * 0 * (-0.1)) + (-0.03 + 0.5 * 0 * (-0.06)) + (-0.075 * 0 * (-0.15)) + (-0.03 * 0 * (-0.06)) \right]$$

$$= 0.055 \text{ [мм]}$$

Для верхньої та нижньої границі поля розсіювання замикаючої ланки маємо:

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0.5 * \delta_{\Delta} \quad (2.32)$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0.5 * \delta_{\Delta} \quad (2.33)$$

$$\delta_{\Delta B} = K_3 + 0.5 * 1.409 = 0.7595 \text{ [мм]}$$

$$\delta_{\Delta H} = K_3 - 0.5 * 1.409 = -0.6495 \text{ [мм]}$$

Для неповної взаємозамінності отримуємо розміри замикаючої ланки:

$$A_{\Delta} = 22^{+0.7595}_{-0.6495} \text{ [мм]}$$

2.8. Послідовність складання

Для того, щоб зібрати складальну одиницю лазерний мікрофон потрібно в нижню частину корпусу, в спеціальні пази втиснути матрицю та лазерний діод. До нижньої частини корпусу пригвинтити верхню 4 гвинтами М3.5х16 (ГОСТ 1491-80). Зафіксувати мембрану на кришці, щоб отвори під гвинти співпадали та загвинтити до верхньої частини зібраного корпусу 8 гвинтами М3.5х16 (ГОСТ 1491-80).

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗДІЛУ

У технологічному розділі дипломного проекту було визначено основні та додаткові показників, комплексний показник технологічності, проведений розрахунок геометричної точності складання, а також складені схеми: технологічна складання та складального складу.

Конструкцію лазерного мікрофона можна вважати технологічною та запускати у виробництво.

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] М.С. Бондар, студент гр. ПМ-71, к.т.н., доц. Нечай С.О. Лазерний мікрофон. - КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- [2] Мустафаев Р.А. РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО МИКРОФОНА. – Воронежский государственный технический университет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2016/04/65941>
- [3] Хорев А.А. СРЕДСТВА АКУСТИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ: НАПРАВЛЕННЫЕ МИКРОФОНЫ И ЛАЗЕРНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rfanat.qrz.ru/s17/spy_napr-mic.html
- [4] BSWA Technology: product Catalogue. – China, BSWA Technology Co., Ltd, 2008. – 29 p. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bswa-tech.com>
- [5] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://audioakustika.ru/node/1167>
- [6] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.matematicus.ru/svyaz/printsip-raboty-ugolnogo-mikrofona>
- [7] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dinamikservis.ru/blog/mikrofony/kondensatornyy-mikrofon/>
- [8] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://getsound.store/blog/whatiscondenser/>
- [9] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://audioakustika.ru/node/1166>
- [10] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: uk.wikipedia.org/wiki/Електрети
- [11] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://whatis.techtarget.com/definition/electret-microphone>
- [12] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chipinfo.pro/elements/acoustics/microphones.shtml#Capacitor>
- [13] Микрофоны и их применение – Эфрусси М.М. 1974 год 8с.
- [14] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://audioakustika.ru/node/1164>
- [15] М. А. Сапожков. Акустика. — М. : Радио и связь, 1989
- [16] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/2270-kak-rabotaet-mikrofon-raznovidnosti.html>

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

[17] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

uk.wikipedia.org/wiki/П%27эзоэффект

[18] Сапожков М. А. Электроакустика. Учебник для вузов. М., «Связь»

[19] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.muzbar.ru/articles/Kak_vybirat_mikrofon__Rukovodstvo_dlya_nachinayuschih/

[20] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://yoursoundpath.com/library/capsules/>

[21] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://elektrik.info/main/praktika/1347-kak-primenyat-fotorezistory-fotodiody-i-fototranzistory.html#i1>

[22] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://studfile.net/preview/3757937/page:23/>

[23] [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6338251/>

					<i>ДПБ ПМ-7101.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Додатки