

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи  
(ступінь вищої освіти)

на тему „Акустично-оптичне перетворення  
сигналів”

Виконав: студент(ка) VI курсу, групи PT-218M

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми Радіотехніка

Кравченко Є.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Чернобровов М.П.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьян М.М.  
(прізвище та ініціали)

2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти другій (магістерський)  
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(код і найменування)  
 Освітня програма Радіотехніка  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри РТТ

к.т.н., доц. Морщавка С.В.

« 11 » 12 2019 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)**

Кравченко Євген Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи „Акустично-оптичне перетворення сигналів“

керівник роботи \_\_\_\_\_  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 8 » 11 2019 року № 365

2. Строк подання студентом роботи 15.12.19



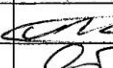
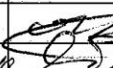
3. Вихідні дані до роботи Проведення дослідження в діапазоні 240-20 ГГц.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Зображення в оптичному діапазоні частоти та їх розподіли. Ефект бієвми, порівняння з отриманими в ході лабораторного дослідження.

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

Презентація

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
43 розділ випуск розділу	к.т.н. доц. Чорнобродов М.П. Певченко М.В., д. держ. упр., проф.	 21.10.19	 21.10.19
м. - в.змінила випуск проекту	асистентка на ур. РІТ м.п.з. І.В. к.т.н. доц. Янчук Ю.В.	 21.10.19	 21.10.19

7. Дата видачі завдання « 2 » Вересня 2019 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

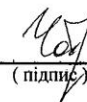
№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Створення та затвердження ТЗ	1 тиждень	
2	Вибір літератури за темою	1 тиждень	
3	Вибір та об'єднання електронних	1 тиждень	
4	Розробка мовного стилю	1 тиждень	
5	Отримання розрахункових графіків	1 тиждень	
6	Визначення вхідних даних	1 тиждень	
7	Розробка заходів охорони праці	1 тиждень	
8	Визначення графіків навантаж.	1 тиждень	
9	Вибір оптимальних даних	1 тиждень	
10	Оформлення пояснювальної записки	1 тиждень	

Студент(ка)

  
(підпис)

Чорнобродов Е.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

  
(підпис)

Чорнобродов М.П.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 99 сторінок, 59 рисунків, 9 таблиць, 9 джерел

Об'єкт дослідження – акустично-оптичне перетворення сигналу.

Мета роботи – розробити стенд для проведення профорієнтаційної роботи серед школярів та абітурієнтів вищих навчальних закладів, або гуртків фізики та радіотехніки, для демонстрації низькочастотних коливань методом акустичної генерації. Основною особливістю даної магістерської роботи є розробка стенду для спостереження за гармонійними коливаннями та їх перетворенням.

Метод дослідження – експериментальне дослідження перетворення сигналів, що являє собою візуалізацію коливальних процесів методом акустично-оптичної трансформації.

У першому розділі розглядаються загальні теоретичні положення які є фундаментальними основами і описують принципи коливальних процесів. У другому розділі приведено опис принципу роботи, електронні схеми розробленого стенду, програмна складова прошивки мікроконтролерів використаних у схемі, інструкція для користування. У третьому розділі наведено розрахунки досліджуваних коливальних процесів та порівняння отриманих графіків з візуалізацією лабораторного стенду. У четвертому розділі описано економічну оцінку виконаній роботі. Зроблені висновки щодо вибору методу демонстрації процесів в магістерській роботі. П'ятий розділ присвячений питанням охорони праці і безпеки життєдіяльності.

ГАРМОНІЙНІ КОЛИВАННЯ, СТОЯЧА ХВИЛЯ, МОДИ КОЛИВАНЬ, ВУЗЛИ, ПУЧНОСТІ, ЧАСТОТА, ФАЗА, АМПЛІТУДА, РЕЗОНАНС, ГЕНЕРАТОР, ПІДСИЛЮВАЧ, ФІГУРИ ЛІСАЖУ, ФІГУРИ ХЛАДНІ

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	9
1.1 Стоячі хвилі .....	9
1.2 Коливання кругової мембрани.....	11
1.3 Фігури Хладні .....	21
1.4 Фігури Лісажу .....	23
2 ОПИС ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ.....	30
2.1 Призначення .....	30
2.2 Принцип роботи стенду.....	30
2.3 Структурна схема стенду .....	33
2.4 Електронна схема стенду.....	34
2.5 Послідовність дій під час роботи зі стендом .....	43
3 АНАЛІЗ ГРАФІКІВ.....	46
3.1 Аналіз графіків з різним співвідношенням частот та фаз .....	46
3.2 Порівняння розрахункових графіків та фігур зі стенду .....	48
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ.....	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	65
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	67
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	70
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	75
5.5 Заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	77
5.6 Висновки з розділу “Охорона праці” та підрозділу “Заходи з цивільної оборони”.....	81
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83

	6
ДОДАТОК А .....	84
ДОДАТОК Б .....	90
ДОДАТОК В .....	96

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

А	–	ампер
В	–	вольт
Вт	–	ват
Гц	–	герц
Д	–	Динамік
дБ	–	децибел
М	–	мембрана
МК	–	мікроконтролер
Ф	–	фігура

## ВСТУП

Рано чи пізно перед людиною постає питання профорієнтації та пошуку свого покликання. Часто це виникає через відсутність або викривлене уявлення щодо певних сфер діяльності, коли занижена самооцінка чи уявно завищена складність у вивченні галузей стає на шляху вибору. Але все починається з мотивації, саме правильної мотивації, не отримання вищої освіти, чи диплому, а пізнання та вивчення тієї науки, яка “запалила” серце. Цей запал з’являється коли правильна подача явища підкріплюється враженням, розумінням своїх можливостей і подальших перспектив. Саме з цією метою було прийнято рішення розробити лабораторний стенд для профорієнтаційної роботи, аби в невимушеній, ігровій обстановці проведення експерименту справити враження та зацікавити людину, відкрити завісу до пізнання науки і розвіяти всі сумніви щодо складності в розумінні та вивченні теми.

Таким чином розробка лабораторного стенду з акустично-оптичним перетворенням сигналу якнайкраще підходить для досягнення поставленої мети. Оскільки під час роботи стенду та зміні параметрів спостерігаються оптичні та шумові ефекти потужністю від 80 до 100 дБ не залишать байдужими експериментуючих та оточуючих.

Дана розробка допоможе відкрити і наочно дослідити коливальні процеси, почути і побачити коливання різної частоти та їх накладання, продемонструє явище резонансу, допоможе зрозуміти суть інтерференції та дифракції хвиль, затухаючих коливань та стоячої хвилі. То ж дана робота в широкому спектрі охоплює тему коливальних процесів та допоможе дослідити і зрозуміти вище перелічені явища.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

У цьому розділі розглянемо основні фізичні процеси і явища які виникають при роботі стенду.

### 1.1 Стоячі хвилі

Як відомо, пружні тіла можуть здійснювати досить складні коливання, при яких вони стискаються, розтягуються, згинаються і скручуються. Проте, коливання будь-якого пружного тіла можна уявити як комбінацію накладання один на одного більше простих нормальних коливань. На рис 1.1 зображено коливання найпростішого пружного тіла – одновимірної натягнутої струни.

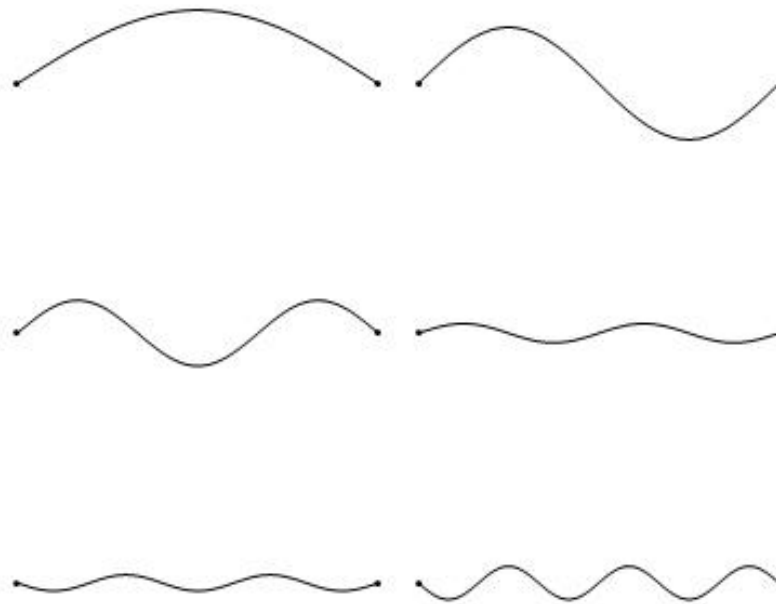


Рисунок 1.1 – Коливання струни

Кожне нормальне коливання є стоячею хвилею, яка, на відміну від біжучої хвилі, стоїть на місці і має своїм малюнком розподілу амплітуд коливань по простору. На цьому малюнку можна виділити пучності – точки, де амплітуда коливань досягає максимумів, і вузли – нерухомі точки, в яких

амплітуда коливань дорівнює нулю. Крім того, кожна така хвиля коливається зі своєю власною частотою. У випадку струни, як можна помітити, частоту коливань стоячої хвилі яка збільшується зі зростанням числа вузлів і пучностей.

Стояча (стійна, нерухома) хвиля – це хвиля, яка при будь-якій фазі коливань, не поширюється в просторі. Характерною особливістю х. с. є наявність у ній вузлів, у яких амплітуда хвилі дорівнює нулю, та пучностей, у яких амплітуда максимальна, причому положення вузлів і пучностей (рис. 1.2) лишається незмінним у просторі.

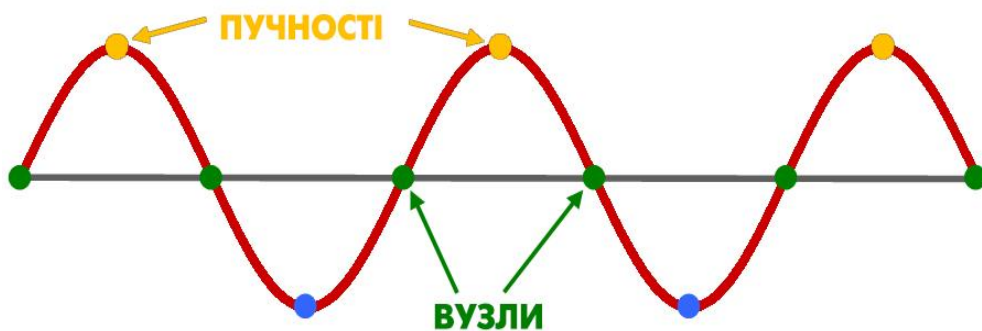


Рисунок 1.2 – Стояча хвиля

В одновимірному випадку дві хвилі однакової частоти, довжини хвилі і амплітуди, що поширюються в протилежних напрямках (наприклад, назустріч один одному), будуть взаємодіяти, в результаті чого може виникнути стояча хвиля. Наприклад, гармонійна хвиля, поширюючись вправо, досягаючи кінця струни, виробляє стоячу хвилю. Хвиля, що відбивається від кінця, повинна мати таку ж амплітуду і частоту, як і падаюча хвиля.

Розглянемо падаючу і відбиту хвилі у вигляді:

$$y_1 = y_0 \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t)$$

$$y_2 = y_0 \cdot \sin(k \cdot x + \omega \cdot t)$$

де:  $y_0$  – амплітуда хвилі;

$k$  – хвильовий вектор, вимірюється в радіанах на метр;

$\omega$  – циклічна (кутова) частота, що вимірюється в радіанах за секунду;

$x$  та  $t$  – змінні для позначення довжини та часу.

Тому результуюче рівняння для стоячої хвилі у буде у вигляді суми  $y_1$  та  $y_2$ :

$$y = y_0 \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t) + y_0 \cdot \sin(k \cdot x + \omega \cdot t)$$

Використовуючи тригонометричні співвідношення, це рівняння можна переписати у вигляді:

$$y = 2y_0 \cdot \cos(\omega \cdot t) \sin(k \cdot x).$$

## 1.2 Коливання кругової мембрани

Мембрана (від лат. Membrana – шкірка, перетинка. Далі  $M$ ) – гнучка тонка плівка, наведена зовнішніми силами в стан натягу і має внаслідок цього пружність.  $M$  відноситься до двовимірних коливальних систем з розподіленими параметрами. Пружність  $M$  залежить тільки від її матеріалу і натягу на відміну від пластинки, пружність  $k$ -рій визначається її матеріалом і товщиною. Відрізність, особливість  $M$ . необхідність її закріплення по зовнішньому контуру. Прикладами  $M$ . є шкіра, натягнута на барабан, тонка металева фольга, яка відіграє роль рухомої обкладки конденсаторного мікрофона, та ін.

Власної частоти коливань круглої  $M$ . радіуса  $a$  можуть бути знайдені з рівняння:

$$J_k\left(\omega_{kl} a \sqrt{\frac{\rho}{T}}\right) = 0 \quad (k = 0, 1, 2, \dots; \quad l = 1, 2, 3, \dots),$$

де  $J_k$  – функція Бесселя 1-го роду  $k$ -го порядку, а  $k$  і  $l$  - числа вузлових діаметрів і вузлових кіл відповідно. У разі круглої  $M$ . жоден з обертонів не є гармонікою основної частоти.

Вимушені коливання  $M$  відбуваються з частотою зовнішнього впливу, при збігу з однією з власною частот має місце резонанс  $M$ . являє собою випромінювач звуку з нерівномірним розподілом коливань швидкості по поверхні (рис.1.3). Випромінювання  $M$  збудженої на основній частоті, має меншу спрямованість, ніж випромінювання на тій же частоті поршневі діафрагми тієї ж конфігурації.

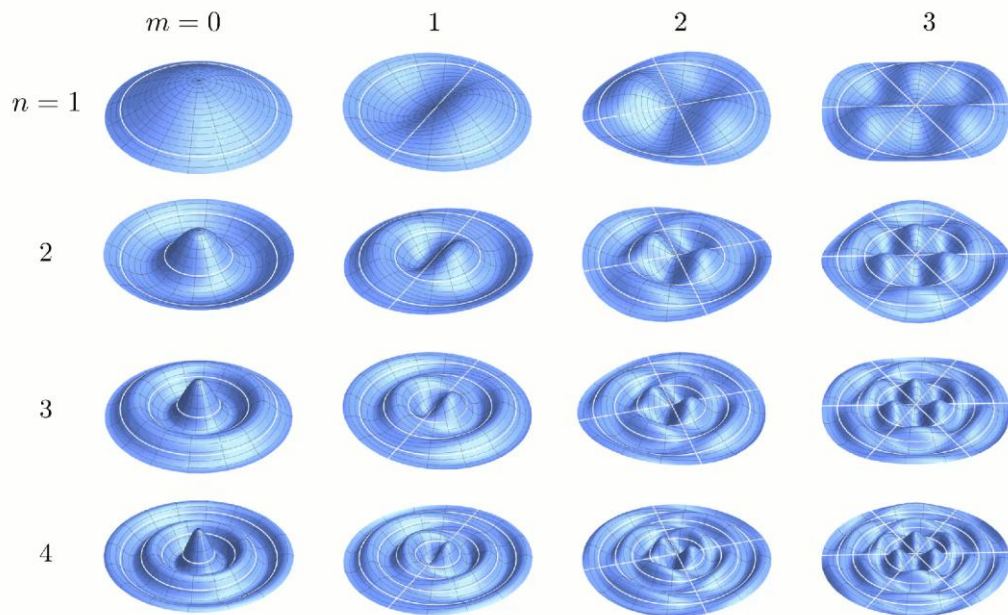


Рисунок 1.3 – Моді коливань круглої мембрани

Розглянувши двовимірну систему коливань, прикладом якої може служити тонка пружна  $M$ , натягнута на жорстку рамку (рис.1.4). Нормальні коливання круглої  $M$  виглядають складніше, ніж у випадку струни, а замість окремих точок-вузлів є вузлові лінії, уздовж яких  $M$  нерухома.

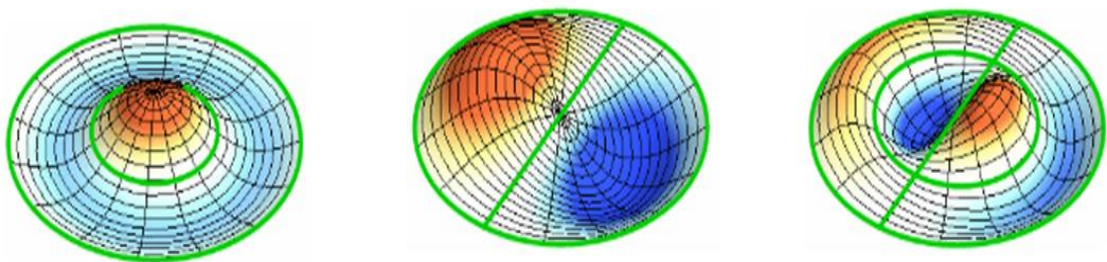


Рисунок 1.4 – Моделі коливань на круговій мембрані

На рисунку 1.4 вузлові лінії зображені зеленим кольором. Розглянемо наступні форми мод на круглій М. номенклатура для маркування мод  $(m, n)$  де  $m$  – число вузлових діаметрів, а  $n$  – кількість вузлових кіл. Вузол є точкою (або лінією) на структуру, яка не рухається в той час як інша частина структури вібрує. На наведеній нижче моделі вузлові діаметри і кола відображаються у вигляді білих областей, які не вагаються, в той час як червоні і сині області вказують на позитивні і негативні зміщення.

Мода  $(0,1)$  (рис. 1.5) моделі показує форму основного режиму для вібруючої круглої М. Номер режиму позначається як  $(0,1)$  так як немає вузлових діаметрів, але є один кругової вузол (зовнішній край). Режим  $(0,1)$  барабана, наприклад, барабана, призначений для ударів в будь-якому місці головки барабана (М). При вібрації в цьому режимі М діє подібно монопольному джерела, який дуже ефективно випромінює звук. Оскільки при такій вібрації він так добре випромінює звук, М швидко передає свою вібраційну енергію в випромінюється звукову енергію, і вібрація гасне. Коротка тривалість (частки секунди) режиму  $(0,1)$  означає, що цей режим не сильно впливає на якість музичного тону барабана. Фактично, якщо вдарити по центру бубон або інший великий барабан, виходить «удар», який швидко розкладається і не має певної висоти тону.

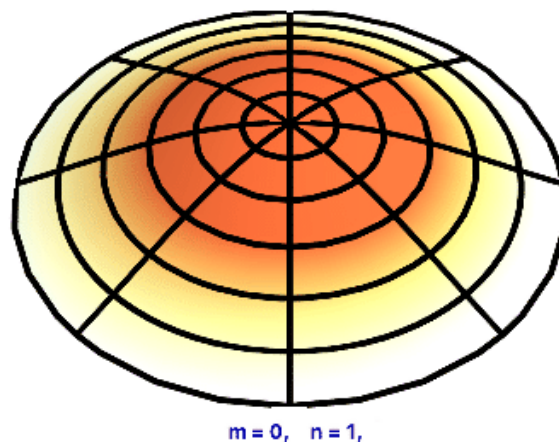
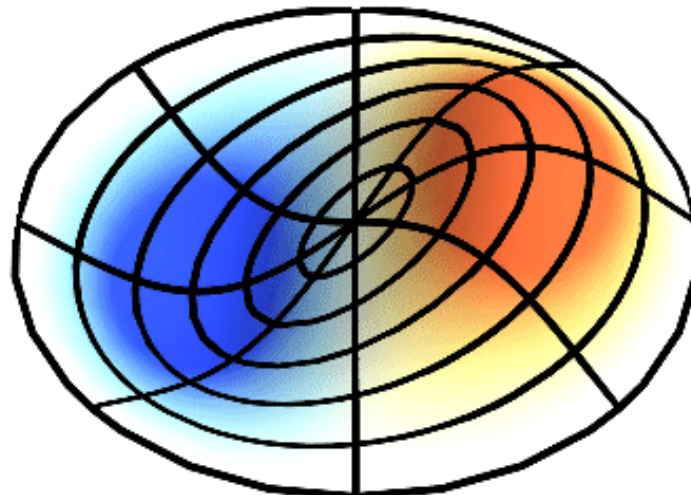


Рисунок 1.5 – Мода коливань 0,1

Наступна мода (1,1) (рис. 1.6) з одним вузловим діаметром і одним кільцевим вузлом (зовнішнім краєм). Точне розташування діаметра вузла залежить від однорідності  $M$  і початкових умов, коли починається вібрація. Частота моди (1,1) в 1,593 рази більше частоти моди (0,1).

При вібрації в режимі (1,1) кругла  $M$  діє так само, як дипольджерело; замість того, щоб відштовхувати повітря від  $M$ , як це відбувається в режимі (0,1), в моді (1,1) одна половина  $M$  виштовхує повітря вгору, а інша половина всмоктує повітря, в результаті чого повітря виштовхується назад і вперед з пліч-о-пліч.

В результаті мода (1,1) випромінює звук менш ефективно, ніж мода (0,1), що означає, що вона не передає свою вібраційну енергію в випромінюється енергію звуку так само швидко, як мода (0,1) і, отже, режим (1,1) загасає довше. Оскільки режим (1,1) «дзвонить» на деякий час, він сприяє музичного звучання або висоті барабана. Коли десь між центром і зовнішнім краєм б'ють барабани або інший великий барабан, звук має певну висоту, яка затягується на кілька секунд.



$$m = 1, \quad n = 1, \quad f_{11} = 1.59 f_{01}$$

Рисунок 1.7 – Мода коливань 1,1

Третя мода круглої  $M$  – це мода (2,1), яка має два вузлових діаметра (під прямим кутом один до одного) і одну вузлову окружність (зовнішній

край). Точне розташування вузлових діаметрів залежить від однорідності  $M$  і початкових умов, коли починається вібрація. Частота моди (2,1) (рис.1.8) в 2,135 рази перевищує частоту моди (0,1). При вібрації в режимі (2,1) круга  $M$  діє так само, як квадрупольісточник, який гірше при випромінюванні звуку, ніж (1,1) дипольна мода, і набагато менш ефективний при випромінюванні звуку, ніж (0,1) монопольна мода. Це означає, що (2,1) передає свою вібраційну енергію в випромінюється звукову енергію набагато повільніше, ніж в режимах (1,1) і (0,1), і, отже, загасання триває довше, а також вносить вклад в музичну висоту барабана.

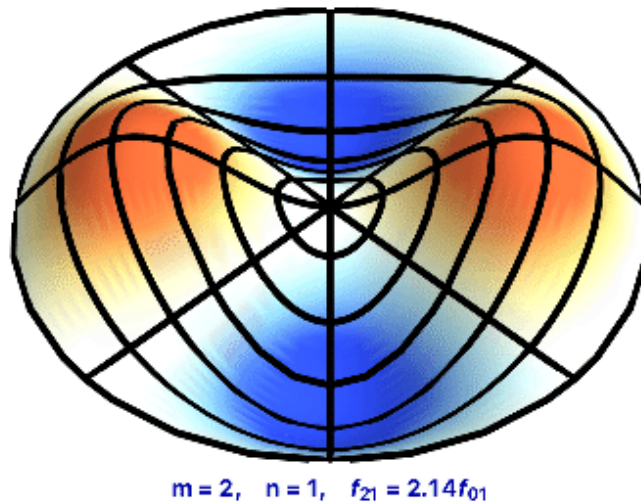


Рисунок 1.8 – Мода коливань 2,1

Мода (0,2) (рис.1.9.), показана на рисунку справа не має ніяких вузлів діаметра, але має два круглих вузлів – по одному краю зовні і один на відстані 0,436 в від центру  $M$  (з бути радіус кругова  $M$ ). Частота моди (0,2) в 2,295 рази перевищує частоту моди (0,1). Характеристики звукового випромінювання моди (0,2) є більш складними, ніж перші три моди – це суміш монополя і диполя. Час його загасання довше, ніж (0,1), але коротше, ніж (1,1). В результаті він вносить свій внесок в звук «удару», коли барабан вдаряє по центру, але не вносить великий вклад в музичну висоту барабана при ударі від центру.

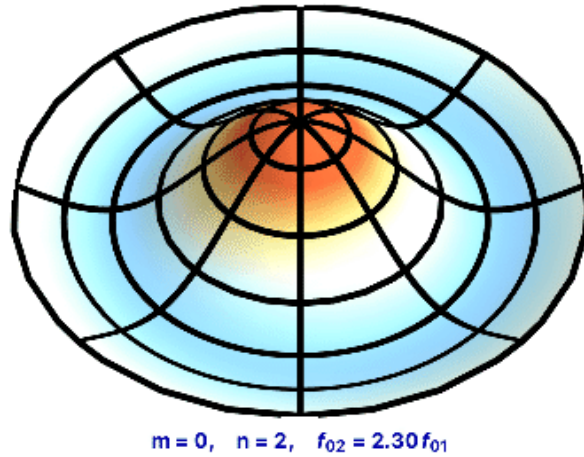


Рисунок 1.9 – Мода коливань 0,2

П'ятою модою круглої М є мода (3,1) (рис. 1.10), яка має три вузлових діаметра і одну вузлову окружність (зовнішній край). Подібно режимам (1,1) і (2,1), цей патерн є поганим випромінювачем або звуком і тому загасає довше.

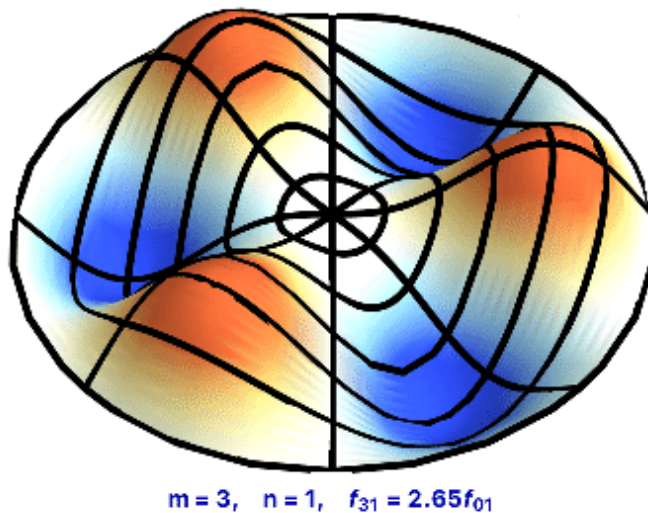


Рисунок 1.10 – Мода коливань 3,1

Мода (1,2), (рис.1.11.) має один вузловий діаметр і два вузлових кола. Частота моди (1,2) в 2,917 разів перевищує частоту моди (0,1). Як і слід було очікувати після перегляду кількох перших режимів кругової М, режим (1,2)

не дуже ефективно випромінює звук. Це має свого роду поведінка квадрупольного типу. Таким чином, мода (1,2) загасає відносно довго.

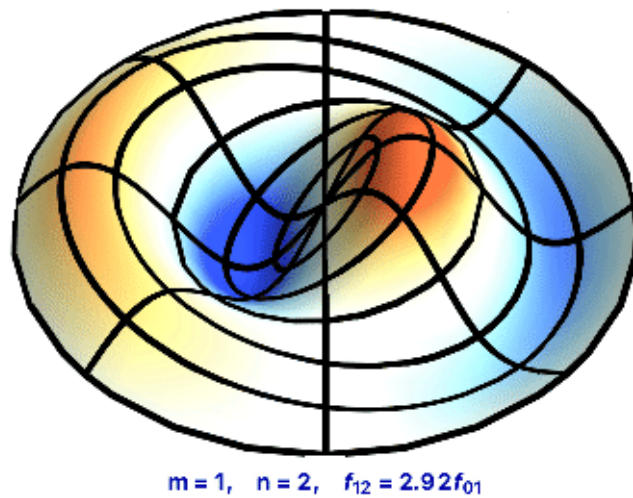


Рисунок 1.11 – Мода коливань 1,2

Сьома мода круглої М – це (4,1) (рис. 1.12), мода, яка має чотири вузлових діаметра і одине вузловий коло (зовнішній край). Подібно режимам (1,1), (2,1), (3,1), цей патерн є поганим випромінювачем або звуком і тому загасає довше і вносить свій вклад в музичну висоту барабана.

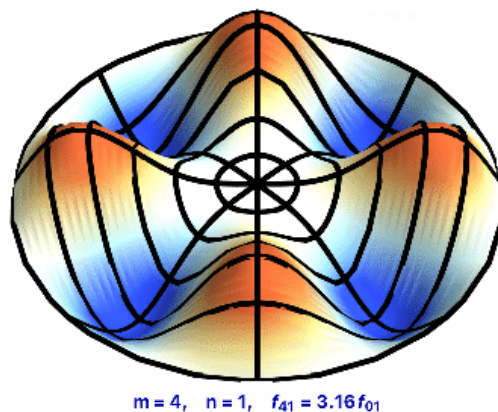
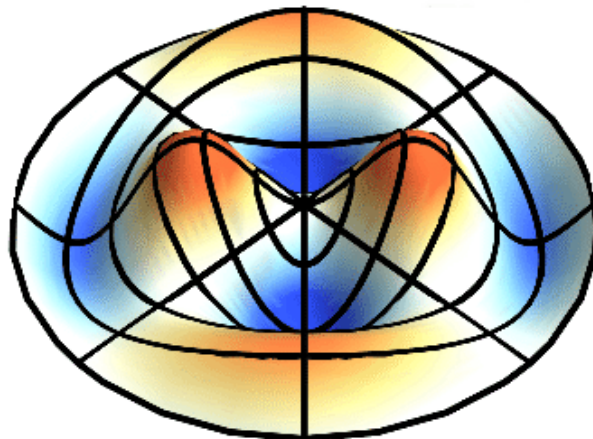


Рисунок 1.12 – Мода коливань 4,1

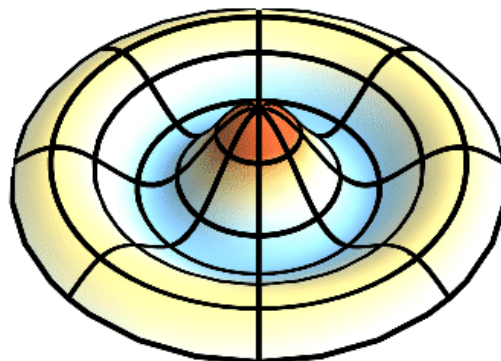
Восьмою модою круглої М є мода (2,2) (рис. 1.13), яка має два вузлових діаметра і два вузлових кола.



$$m = 2, \quad n = 2, \quad f_{22} = 3.50f_{01}$$

Рисунок 1.13 – Мода коливань 2,2

Мода(0,3) (рис. 1.14), має три круглих вузла, але без вузлів діаметра. Частота режиму (0,3) в 3,598 разів перевищує частоту режиму (0,1). Характеристики звукового випромінювання моди (0,3) досить складні. Однак цей режим порушується, коли М потрапляє в центр, і він досить швидко згасає. В результаті він вносить свій внесок в звук «удару», коли барабан вдаряє по центру, але не вносить великий вклад в музичну висоту барабана при ударі від центру.



$$m = 0, \quad n = 3, \quad f_{03} = 3.60f_{01}$$

Рисунок 1.14 – Мода коливань 0,3

Десята мода круглої М – це мода (5,1) (рис. 1.15), яка має п'ять вузлових діаметрів і одну вузлову окружність на фіксованому зовнішньому ободі.

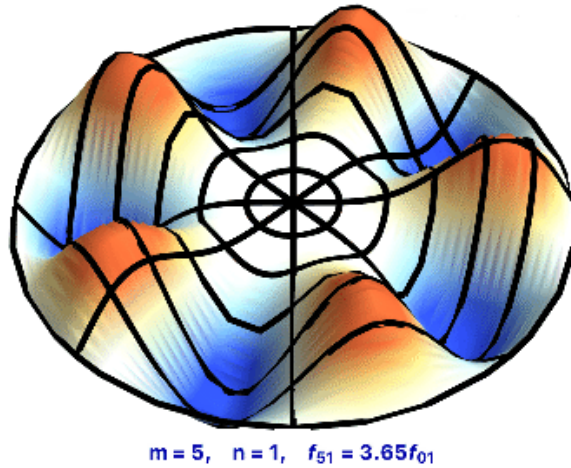


Рисунок 1.15 – Мода коливань 5,1

Одинадцятої модою круглої М є мода (3,2) (рис. 1.16), яка має три вузлових діаметра і два вузлових кола.

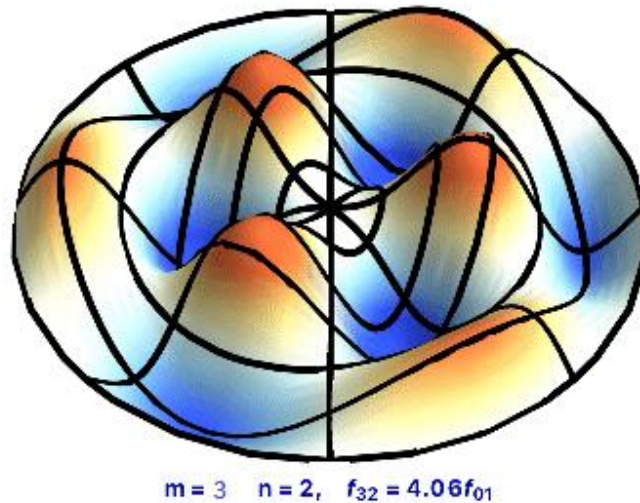


Рисунок 1.16 – Мода коливань 3,2

Таким чином ми розглянули і проаналізували моди стоячих хвиль у круговій мембрані, а також з'ясували принципи їх визначення та класифікації.

### 1.3 Фігури Хладні

Фігури Хладні – візерунки (рис. 1.17), що утворюються накопиченням дрібних частинок (наприклад, піску) поблизу пучностей чи вузлових ліній стоячих хвиль на поверхні пружної пластинки, що коливається. Названі в честь німецького фізика Ернста Хладні, який займався вивченням закономірностей прояву цих явищ.

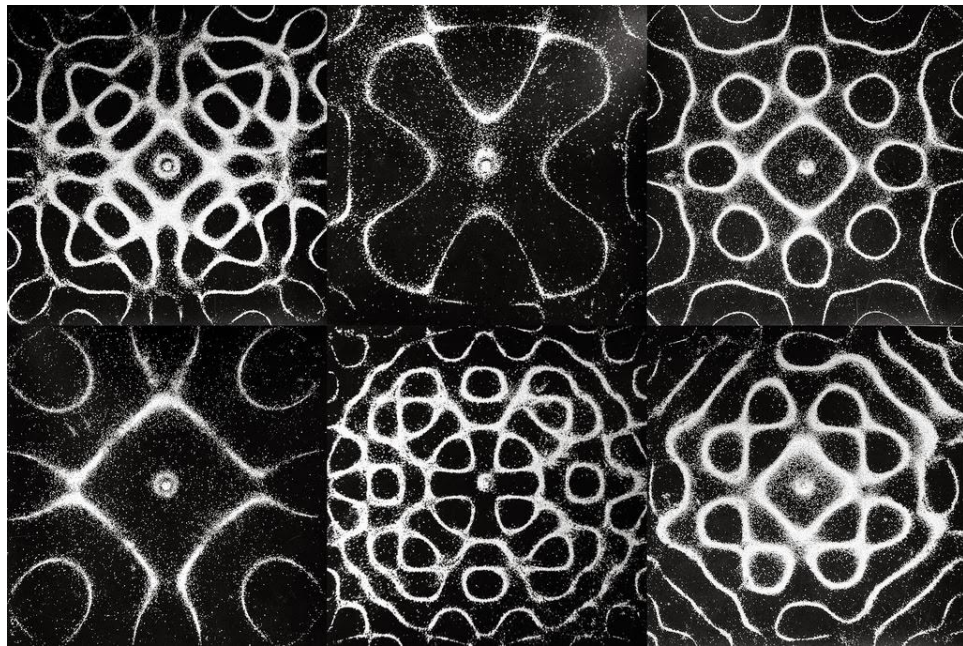


Рисунок 1.17 – Фігури Хладні

Для випадку круглої пластинки вузлові лінії можуть бути коловими або радіальними, у випадку прямокутної чи трикутної пластинки вони спрямовані паралельно до сторін або діагоналей. Змінюючи точки закріплення і місця збудження, можна отримати різноманітні фігури Хладні.

У 1976 році математик Карен Уленбек довела теорему, згідно з якою вузлові лінії стоячих хвиль квантових більярдів, взагалі кажучи, і не повинні перетинатися.

У спрощеному вигляді це можна показати наступним чином: припустимо (рис. 1.18), що дві вузлові лінії  $V$ , перетинаються в точці  $A$ ,  $(x_0, y_0)$ . Щоб таке сталося, функція  $f(x, y)$ , що задає залежність амплітуди стоячій хвилі від координат, повинна одночасно задовольняти трьом умовам:

- а) вона повинна бути дорівнює нулю в точці  $(x_0, y_0)$ , так як ця точка є вузловою;
- б) якщо рухатися з точки  $(x_0, y_0)$  в напрямку першої вузлової лінії, то  $f(x, y)$  повинна залишатися рівною нулю;
- в) якщо рухатися з точки  $(x_0, y_0)$  в напрямку другої вузловий лінії, то  $f(x, y)$  також повинна залишатися рівною нулю.

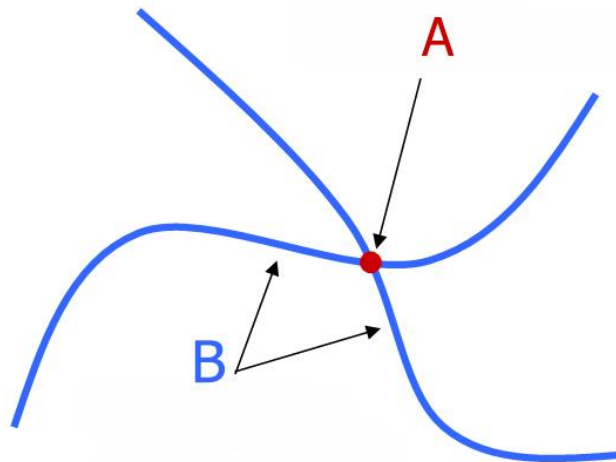


Рисунок 1.18 – Умовний перетин вузлових ліній

Разом маємо три умови (або три рівняння), накладені на функцію двох змінних  $f(x, y)$ . Як ми знаємо, одного рівняння недостатньо для повного знаходження двох невідомих  $x$  і  $y$ , двох рівнянь для цього вже достатньо, а три рівняння – це багато. Система трьох рівнянь для двох невідомих, рішень

не матиме. Тому точки перетину вузлових ліній можуть існувати тільки як виняток.

У 1818 році Хладні в одному з листів повідомляв про дотепне застосування його звукових фігур одним будівельником для точного збігу отворів у кам'яній плиті сходів перед свердлінням їх знизу будівельник посипав плиту піском, який в умовах вібрацій при свердлінні частково перерозподіляється, точно вказуючи місце для зустрічного свердління зверху.

Згодом замість смичка стали використовувати звукові динаміки з електронним генератором сигналу, що забезпечувало точніше налаштування на необхідну частоту.

Методи цієї техніки зазвичай використовують при проектуванні і виготовленні музичних інструментів таких як скрипка, гітара та віолончель, в дефектоскопії та для дослідження виробів у цілому (рис. 1.19).

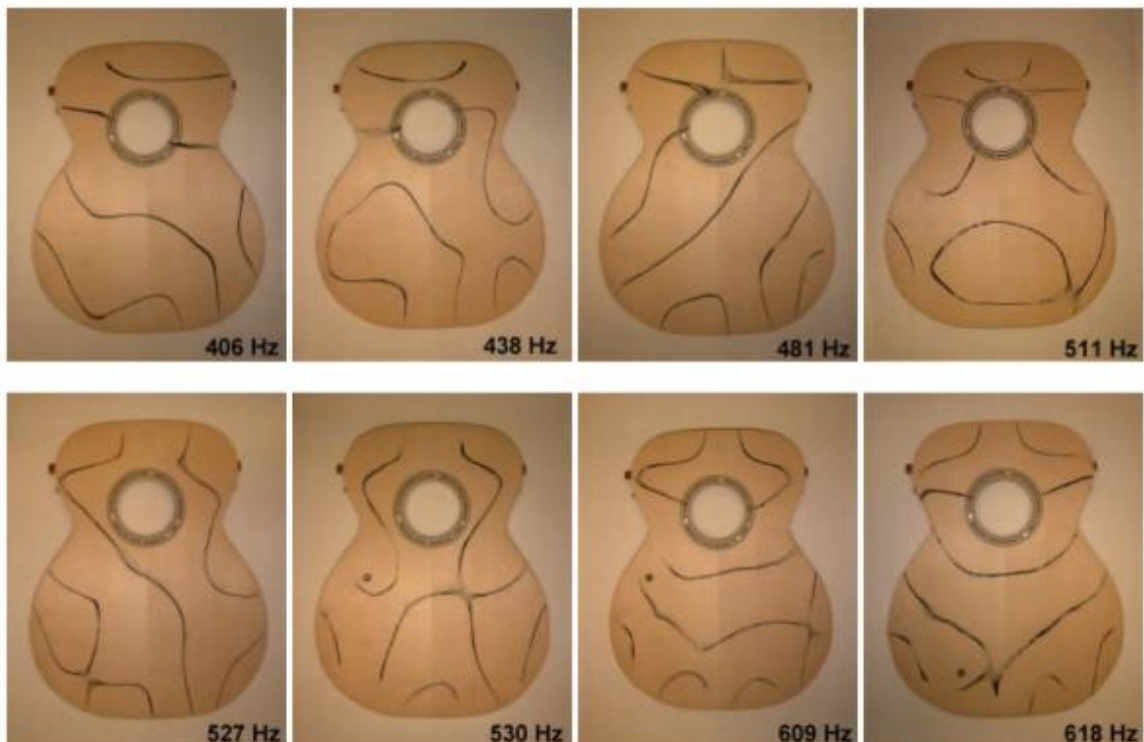


Рисунок 1.19 – Фігури Хладні на верхній деці гітари

Таким чином фігури Хладні є візуалізацією більш складних мод стоячої хвилі у різних матеріалах. Форми фігур залежать від багатьох факторів, в першу чергу від форми, точки подачі коливань, товщини, пластичності, структури, щільності, однорідності матеріалу, температури, наявності внутрішніх напруг, всі ці чинники впливають на формування мод у площині.

#### 1.4 Фігури Лісажу

Фігури Лісажу – замкнуті траєкторії, які прокреслюються точкою, що здійснює одночасно два гармонійних коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Вперше вивчені французьким науковцем Ж. Лісажу (фр. J. Lissajous; 1822-1880). Вид фігур залежить від співвідношення між періодами ( частотами), фазами і амплітудами обох коливань (рис. 1.21). У найпростішому випадку (за рівності обох періодів) фігури являють собою еліпси, які при різниці фаз 0 або  $\pi$  вироджуються у відрізки прямих, а при різниці фаз  $\pi/2$  і рівності амплітуд перетворюються в коло (рис. 1.20)

Якщо періоди обох коливань не точно збігаються, то різниця фаз весь час змінюється, внаслідок чого еліпс весь час деформується. При істотно різних періодах фігури Лісажу не спостерігаються, оскільки еліпс деформується швидко, картина розмивається.

Однак, якщо періоди відносяться як цілі числа, то через проміжок часу, рівний найменшому кратному обох періодів, точка, що рухається, знову повертається в те ж положення – виходять фігури Лісажу складнішої форми. Фігури Лісажу вписуються в прямокутник, центр якого збігається з початком координат, а сторони паралельні осям координат і розташовані по обидва боки від них на відстанях, рівних амплітудами коливань. При цьому кількість дотиків фігури до сторін прямокутника, в який вона вписана дає відношення періодів двох коливань.

Для визначення частоти електричних гармонічних коливань широко використовується метод фігур Лісажу. Якщо гармонійне коливання відомої частоти  $x \nu$  подати на вхід “Х” електронного осцилографа, а перпендикулярне до нього гармонічне коливання невідомої частоти  $y \nu$  – на вхід “У”, то на екрані можна бачити результуюче коливання, що утворилося внаслідок додавання двох взаємно перпендикулярних коливань.

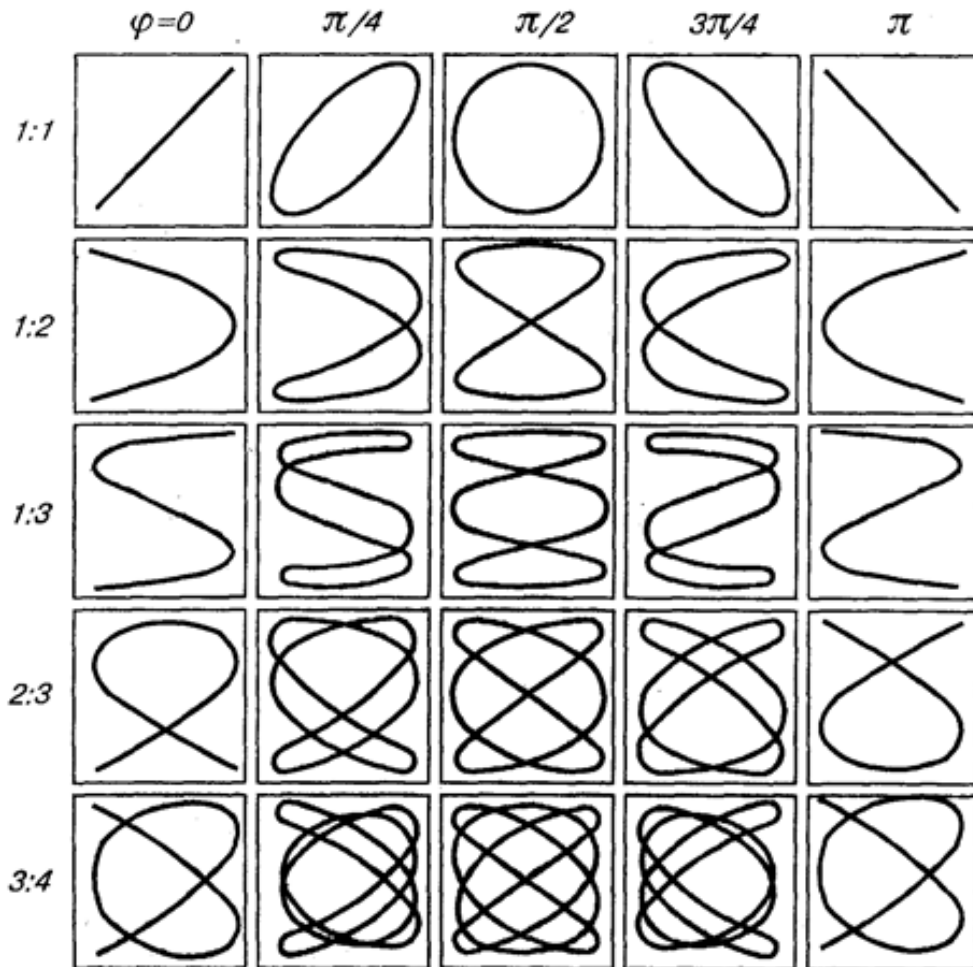


Рисунок 1.20 – Фігури Лісажу

Результуюче коливання, яке має вигляд складної кривої, називається фігурою Ліссажу. За виглядом фігури Ліссажу можна визначити невідому частоту  $x \nu$  гармонічного коливання. Рівняння для фігур Ліссажу можна отримати, записавши рівняння гармонічних коливань:

$$x = x_0 \cdot \cos \cdot 2\pi \cdot v \cdot t, \quad y = 2y_0 \cdot \cos(2\pi \cdot n \cdot v \cdot t + \varphi),$$

де:  $v$  – частота коливань, які подаються на вхід X осцилографа;

$n$  – множник (коефіцієнт);

$\varphi$  – різниця початкових фаз цих коливань.

Додавання взаємно перпендикулярних коливань з однаковими частотами ( $n = 1$ ) показано, що при  $\varphi = 0$  та  $\varphi = \pi$  фігура Лісажу має вигляд прямої лінії, нахиленої під кутом  $\alpha$ , тангенс якого визначається виразом:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} = \frac{y_0}{x_0} \frac{\cos(2\pi v t + \varphi)}{\cos 2\pi v t}.$$

Якщо ж  $\varphi = \pi$ , то Лісажу у загальному випадку має вигляд еліпса, рівняння якого записується як:

$$\frac{x^2}{x_0^2} + \frac{y^2}{y_0^2} = 1.$$

При додаванні взаємно перпендикулярних коливань різних частот утворюються доволі складні фігури Лісажу. Якщо частоти коливань кратні, то рівняння, що описують такі фігури можна легко одержати на основі формул тригонометрії, але у загальному випадку це може бути досить складним завданням.

Наочне уявлення про вигляд фігур Лісажу дає анімація, в якій можна змінювати в невеликих межах співвідношення частот та початкових фаз коливань. Фігури Лісажу, які утворюються при додаванні коливань, у яких число  $n$  може бути представлене у вигляді відношення двох цілих чисел  $x$  та  $y$ , то фігура Лісажу на екрані осцилографа буде стійкою і її можна використовувати для порівняння частот коливань, що додаються. Можна показати, що пряма, проведена паралельно осі ОУ перетинає фігуру у  $n$  разів,

а пряма, яка паралельна осі  $OX$  –  $x$  п разів в даному випадку (рис. 1.21), де співвідношення частот 1:2 та фаза  $\pi/4$ .

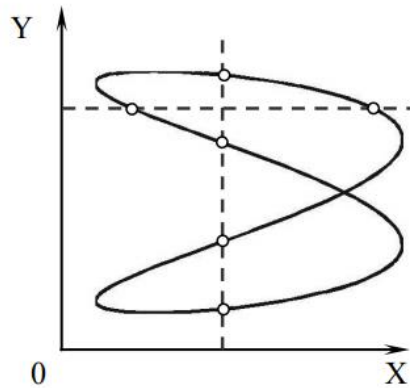


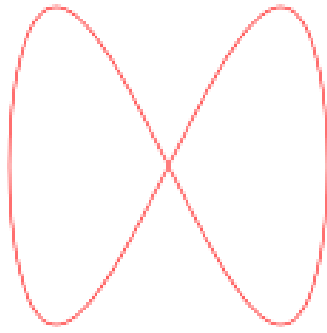
Рисунок.1.21 – Залежність між співвідношенням частот та лініями перетину фігури Лісажу

Звідси впливає правило визначення частоти досліджуваного гармонічного коливання. Проводять дві взаємно перпендикулярні прямі, паралельні осям  $x$  та  $y$ , і підраховують відповідно числа  $x$  п та  $y$  п точок перетину цих прямих з фігурою Лісажу. У даному випадку  $n_x=2$  і  $n_y=4$ . Отже:

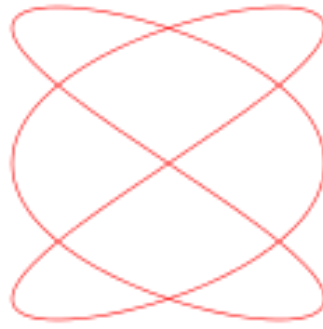
$$n = \frac{\nu_y}{\nu_x} = \frac{n_x}{n_y} = \frac{2}{4} ; \quad \frac{\nu_y}{\nu_x} = \frac{1}{2} .$$

Рекомендується не проводити прямі через точку перетину гілок кривої, тому що в цьому випадку точку перетину потрібно враховувати двічі (кратні корені).

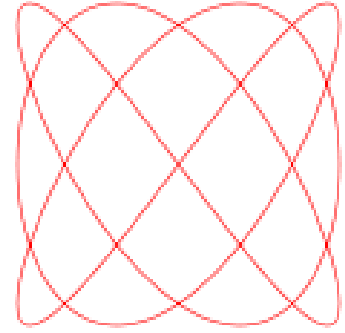
Нижче наведені приклади фігур Лісажу з  $\varphi = \pi/2$ , непарного натурального числа  $a$ , парного натурального числа  $b$ , і  $|a - b| = 1$  (рис.1.22, 1.23).



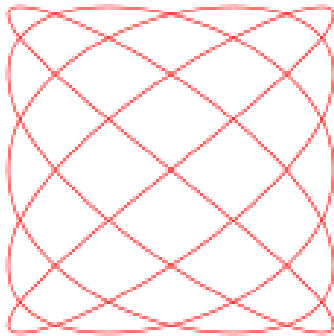
$$a = 1, b = 2 (1:2),$$



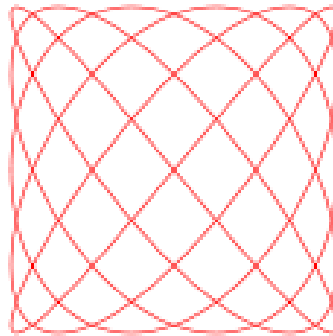
$$a = 3, b = 2 (3:2),$$



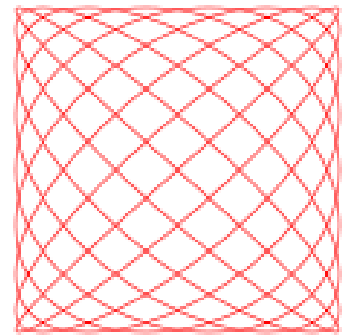
$$a = 3, b = 4 (3:4),$$



$$a = 5, b = 4 (5:4),$$



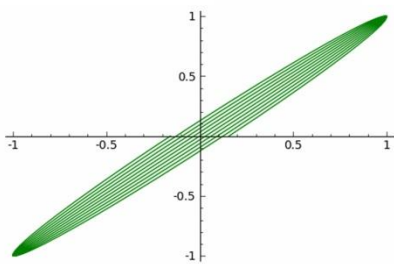
$$a = 5, b = 6 (5:6),$$



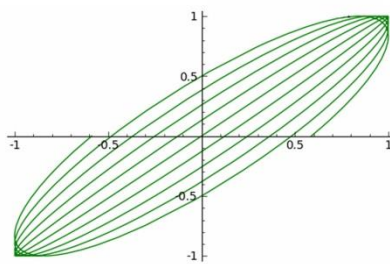
$$a = 9, b = 8 (9:8)$$

Рисунок 1.22 – Фігура Лісажу

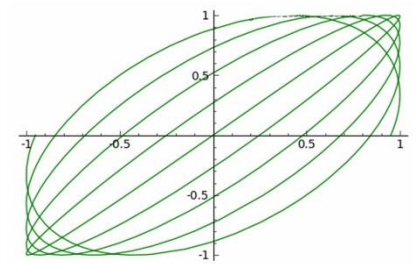
Далі представлені приклади фігур Лісажу з  $\varphi = \pi$ , та співвідношенням частот  $a/b = <1$ ;



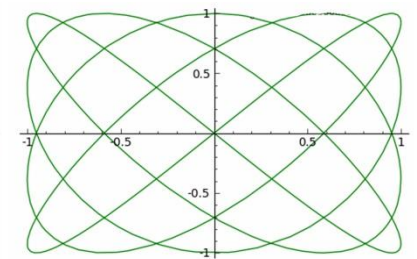
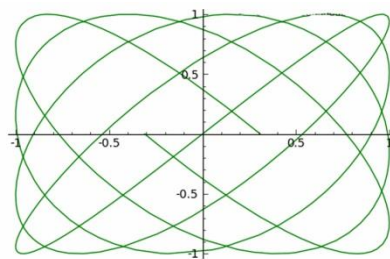
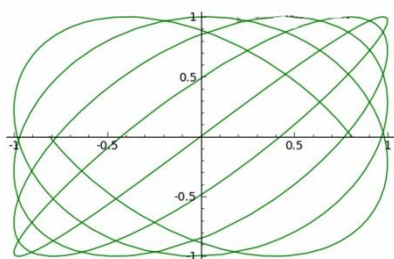
$$a/b = 0.99$$



$$a/b = 0.96$$



$$a/b = 0.92$$



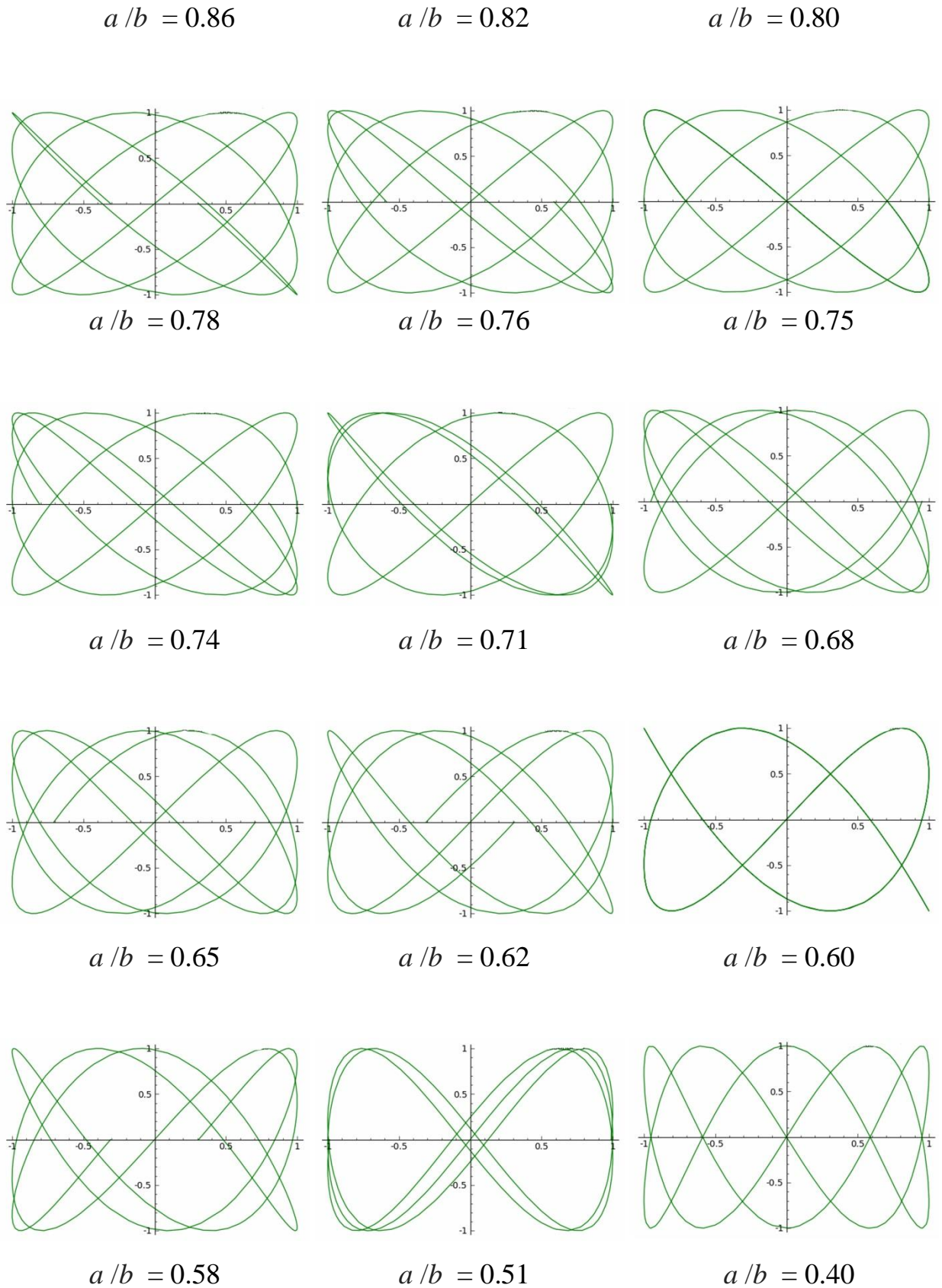


Рисунок 1.23 – Фігура Лісажу при співвідношенні частот  $< 1$

При спостереженні за фігурами на екрані осцилографа представленими вище із співвідношенням частот, що не дорівнює кратному буде складатись візуальне враження обертання фігури в об'ємі навколо своєї осі. Це пояснюється тим, що при циклічному продовженні шляху точки з заданим зміщенням фаз картинка буде оновлюватись з частотою пропорційною співвідношенню частот  $a$  і  $b$ .

Якщо подати на входи «X» і «Y» осцилографа сигнали кратних або рівних(близьких) частот, то на екрані можна побачити фігури Лісажу. Цей метод широко використовується для порівняння частот і фаз двох джерел сигналів і для підлаштування одного джерела під частоту іншого. Якщо коливання, які здійснює точка, відбуваються не за гармонійним, а за більш складним законом, але з однаковим періодом, то виходять замкнуті траєкторії, аналогічні фігурам Лісажу, але спотвореної форми.

Коли частоти близькі, але не рівні одна одній, фігура на екрані обертається, причому період циклу обертання є величиною, оберненою різниці частот, наприклад, період обороту дорівнює  $2c$  — різниця в частотах сигналів дорівнює 0,5 Гц. При рівності частот фігура застигає нерухомо, в будь-якій фазі, однак на практиці, за рахунок короткочасних нестабільностей сигналів, фігура на екрані осцилографа зазвичай трохи тремтить.

Використовувати для порівняння можна не лише однакові частоти, але і ті, що знаходяться у кратному відношенні, наприклад, якщо зразкове джерело може видавати частоту тільки 5 МГц, а джерело, що налаштовується — 2,5 МГц

## 2 ОПИС ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

В цьому розділі представлено, призначення, опис принципу роботи стенду, його конструктивні особливості і можливості.

### 2.1 Призначення

Основне призначення стенду це демонстрація явищ коливальних процесів у середовищах. Стенд стане в нагоді під час проведення лекцій та лабораторних робіт, у гуртках та під час профорієнтаційної роботи. Дана розробка допоможе краще зрозуміти суть фізики хвиль, та коливань продемонстрованих у ході роботи.

### 2.2 Принцип роботи стенду

Принцип роботи полягає у візуалізації поданих та підсилених сигналів. Розглянемо будову стенду (рис. 2.1), у розгалуженні поліпропіленової труби формату 110/110/110/45, закріплено динаміки (далі Д) А, В, С, які приводяться у дію за допомогою генератора з підсилювачем.

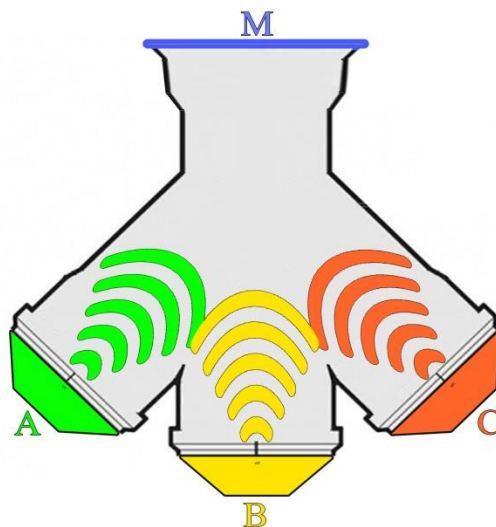


Рисунок 2.1 – Схема будови стенду

Оскільки порожнина труби герметично закрита, коливання повітря передаються більш пластичній і менш пружній мембрані М, яка відіграє важливу роль у візуалізації сигналів з Д.

Варто відзначити, що Д котрі не задіяні під час генерації сигналу ділять енергію коливань з мембраною у співвідношенні рівному співвідношенню пружності мембрани М та мембран динаміків. Тобто амплітуда на поверхні М буде більшою при роботі двох генераторів оскільки в такому випадку енергія згенерована двома Д буде поглинатись М та мембраною Д який не генерує сигнал, у тому самому співвідношенні. Звісно частина енергії буде поглинатись і стінками труби і на різних частотах буде істотно відрізнятись. Це пояснюється різним коефіцієнтом поглинання частот різними матеріалами, але ця кількість поглиненої енергії настільки незначна, що її можемо не брати до уваги.

Принцип візуалізації сигналу дещо нагадує принцип роботи електронно-променевої трубки. Розглянемо детальніше процес візуалізації сигналу представлений на (рис. 2.2).

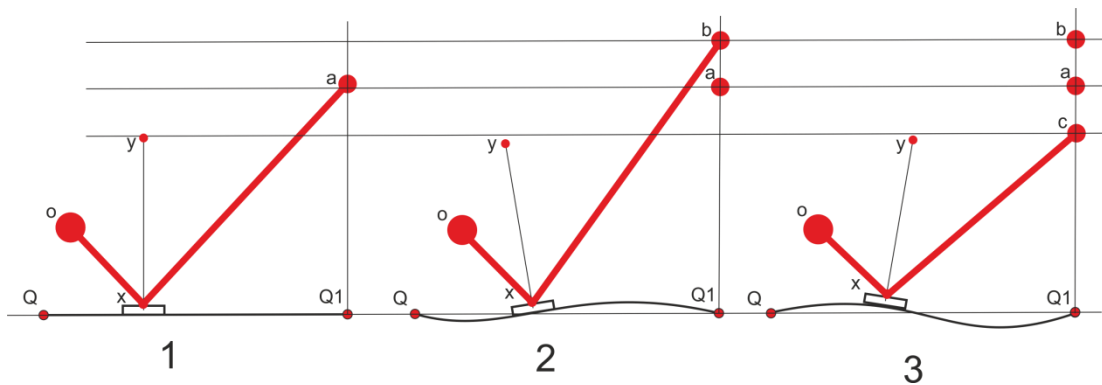


Рисунок 2.2 – Принцип візуалізації акустичного сигналу

У першому випадку кругова М закріплена на ободі труби, на схемі точки Q, Q1, на якій у точці між центром М та ободом кріплення закріплено дзеркало. На дзеркало під певним кутом спрямовано статично закріплений лазерний промінь таким чином, щоб при відбиванні від дзеркала потрапляв

на екран, у даному випадку на екрані точка *a*. При утворенні коливань на М спричиненими Д і дзеркало відхиляється не певний кут відносно лазерного променя. Оскільки кут падіння світла дорівнює куту відбивання, за відсутності надмірного розсіювання, або заломлення, промінь на екрані відбивається у точку *b*, як показано у другому випадку. Під час зміни фази коливання дзеркало відхиляється в інший бік і відбитий промінь потрапляє в точку *c*, як показано у третьому випадку.

На рисунку 2.2 показано одновимірну модель зміни положення променя, проте в реальних умовах дзеркало відхиляється на кут утворений модами стоячих хвиль на мембрані у двох площинах, так само як і промінь в електронно-променевої трубі відхиляється магнітним полем. Таким чином в динаміці на екрані будуть отримана фігури утворені коливаннями М.

Амплітуда коливань на екрані напряму залежить від амплітуди коливань мембрани, а розмір фігур на екрані залежить від довжини відбитого променя. Тобто чим більша довжина відбитого променя тим більша амплітуда між точками *a*, *b*, *c* і як наслідок більша фігура зображеного сигналу.

Варто зазначити, що матеріал та властивості М відіграють роль у зображенні сигналу. В ході дослідження було випробувано декілька матеріалів в якості М.

Мембрана з латексу показала гарні результати при передачі коливань, вона щільно та рівномірно натягувалась на обід труби, проте з часом М розтягувалась, товщина у деяких місцях зменшувалась, що призводило до розриву від втоми.

Другим матеріалом для М був випробуваний поліетилен, але він показав значно гірші результати. М з поліетилену погано натягувалась, не вдавалось досягти рівномірного натягу, на поверхні М утворювались випуклості і нерівномірності що вносили значні спотворювання у форму сигналу.

Найкращі властивості показала М з силікону. Так само як М з латексу М з силікону рівномірно натягувалась, добре пропускала коливання та виявилась значно стійкішою до розтягування. Таким чином було прийнято рішення використовувати саме силіконову мембрану.

### 2.3 Структурна схема стенду

Розглянемо структурну схему стенду представлену на рис. 2.3 умовно яку можна розділити на три блоки. До першого блоку входять елементи відтворення сигналу, саме три генератора А, В, С, та аудіо роз'єм 3,5мм позначений на схемі як вхід.

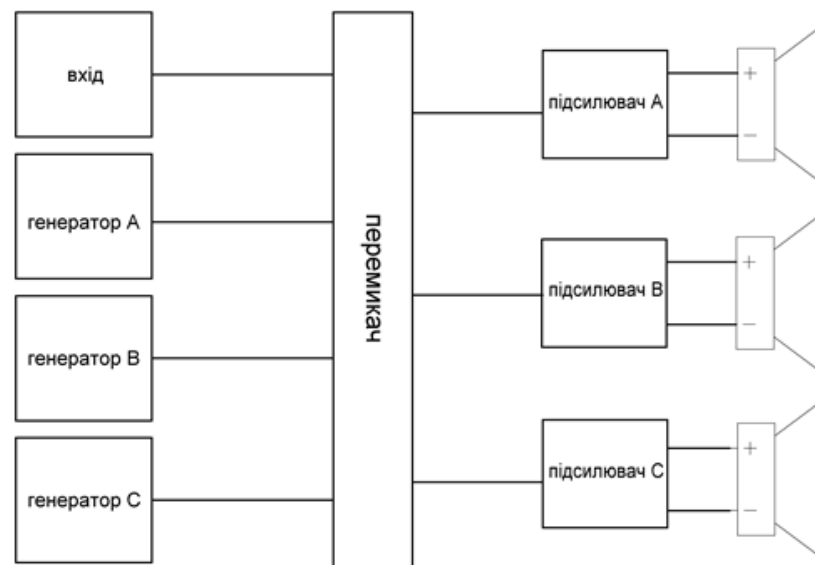


Рисунок 2.3 – Структурна схема стенду

Другий блок являє собою перемикач вхідних сигналів з генераторів та зовнішнього входу, які потім поступають на третій блок. Третій блок складається із трьох підсилювачів звукової частоти підсилювач А, В, та С. У першому випадку сигнал з генераторів поступає на підсилювачі, при цьому з генератора А сигнал йде на підсилювач А, з генератора В на підсилювач В, та з генератора С на підсилювач С. Таким чином одночасно можна подавати різні частоти на підсилювачі які відтворюють підсилений сигнал на

динаміках. При цьому можна окремо увімкнути будь які з генераторів.

У другому випадку якщо перемикач перевести в іншу позицію то зв'язок між входами підсилювачів і виходами генераторів обривається і входи підсилювачів А, В, С з'єднуються з зовнішнім джерелом сигналу. В такому випадку можна подати на підсилювачі більш складні форми сигналів, наприклад для дослідження наявності гармонійних коливань у класичній музиці.

## 2.4 Електронна схема стенду

Розглянемо електронну схему генератора представлену на рис. 2.4, вона складається із трьох основних частин, а саме плати Arduino nano, модуля рідкокристалічного екрану LCD 1602A, та енкодера.

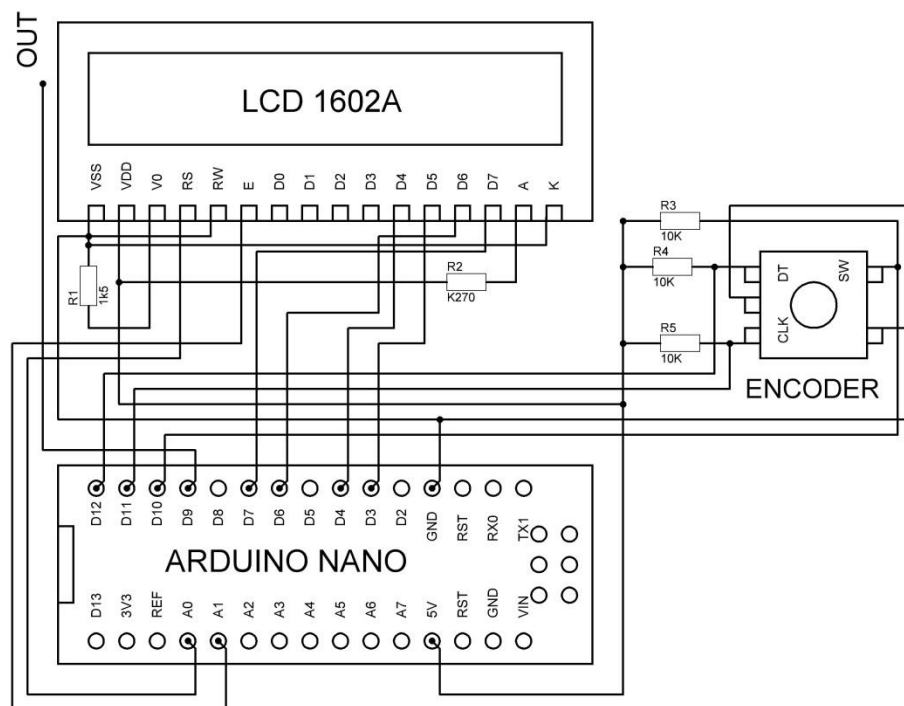


Рисунок 2.4 – Електронна схема генератора

Плата Arduino nano, представляє собою компактну та зручну відладочну плату з роз'ємом mini usb type b, мікросхемою CH340 призначеною для перетворення шини USB в інші інтерфейси, що дає змогу завантажувати програму без програматора, та МК Atmega328 у форматі корпусу QFN або QFP. На рис. 2.5 представлена детальна розпіновка Arduino nano.

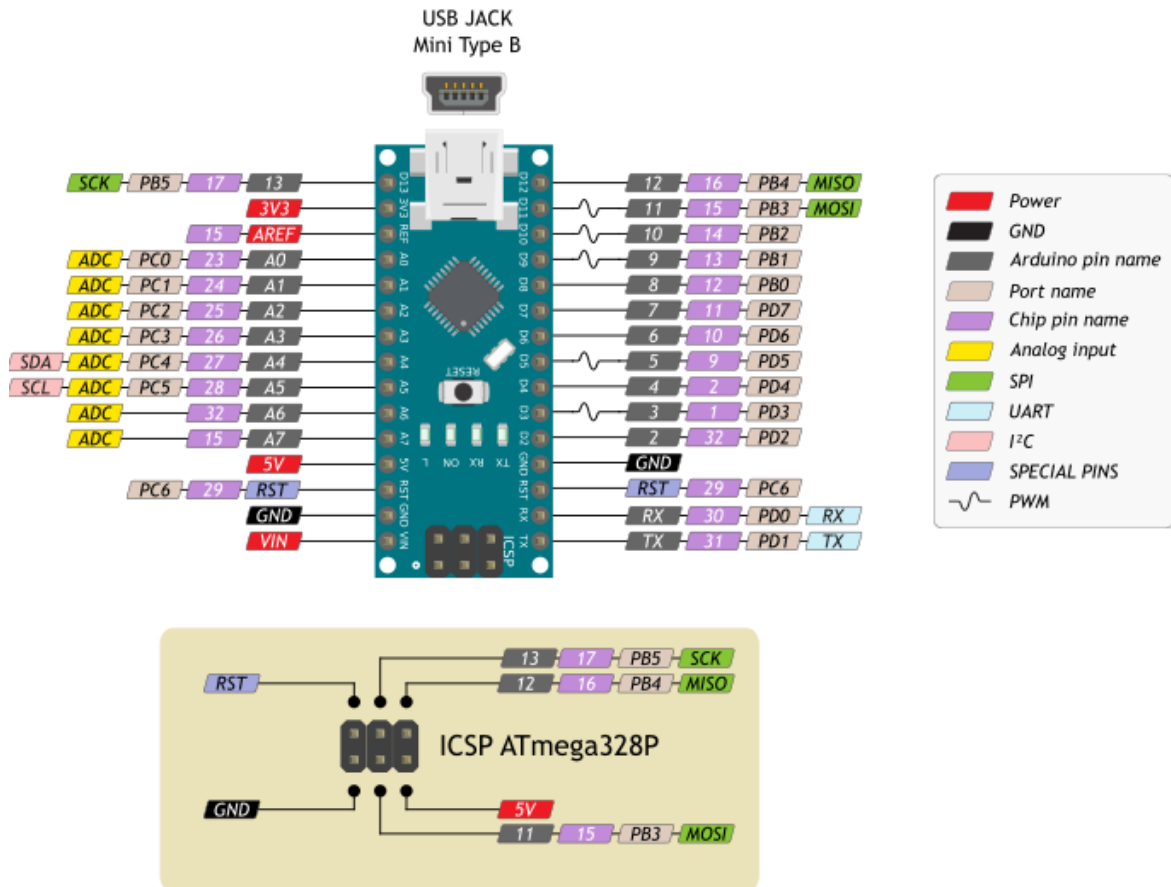


Рисунок 2.5 – Розпіновка Arduino nano

В таблиці 2.1 представлені короткі характеристики Arduino nano.

Таблиця 2.1 – Короткі характеристики Arduino nano

Робоча напруга (логічна рівень)	5 В
Вхідна напруга (рекомендований)	7-12 В
Вхідна напруга (граничне)	6-20 В
Цифрові Входи / Виходи	14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)
Аналогові входи	8
Постійний струм через вхід / вихід	40 мА
Флеш пам'ять	32 Кб (АТmega328) при цьому 2 Кб використовуються для завантажувача
EEPROM	1 Кб (АТmega328)
ОЗУ	2 Кб (АТmega328)
Тактова частота	16 МГц
Розміри	185 мм x 42 мм

Оскільки для плат Arduino передбачено своє середовище розробки програм Arduino IDE, то також вимагає встановлення у МК Bootloader, тому програмування звичайного МК Atmega328 без бутлодера буде неможливим, проте всі плати Arduino вже мають бутлодер. Крім того написання коду програми в Arduino IDE, відбувається на спрощеній C++ що робить набагато простішим роботу з МК, наприклад в даному середовищі розробки не треба встановлювати ф'юз біти для роботи з таймерами, та ін. В враховуючи що Arduino nano коштує на 15-20% від вартості МК Atmega328 в DIP корпусі, то вибір очевидний.

Другим елементом схеми є іднокристалічеській дисплей (Liquid Crystal Display) скорочено LCD побудований на технології рідких кристалів. З усіх доступних LCD дисплеїв на ринку, найбільш часто використовуваною є LCD

1602A, який може відображати ASCII символи в 2 рядки (16 знаків в 1 рядку) кожен символ в вигляді матриці 5x7 пікселів. Модуль екрану LCD 1602A призначений для індикації налаштувань та параметрів вихідного сигналу. На схемі, резистор R1 відповідає за контрастність зображуваних символів на дисплеї, а резистором R2 задається яскравість підсвітки дисплею.

LCD 1602A є електронний модуль заснований на драйвері HD44780 від Hitachi. LCD1602 має 16 контактів і може працювати в 4-бітному режимі (з використанням тільки 4 лінії даних) або 8-бітному режимі (з використанням усіх 8 рядків даних), так само можна використовувати інтерфейс I2C. Характеристики дисплею LCD 1602A представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристики дисплею LCD 1602A

Напруга живлення	5 В
Розмір дисплея	2.6 дюйма
Тип дисплея	2 рядки по 16 символів
Колір підсвічування	зелений
Колір символів	чорний
Габаритні розміри	80мм x 35мм x 11мм

В табл. 2.3 представлено функціональне призначення контактів дисплею.

Третім елементом схеми генератора є інкрементальний енкодер призначений для налаштування вихідного сигналу. Резистори R3 – R5 виконують функцію підтягування зчитувальних пінів положення контактів енкодера до +5В.

На рис. 2.6 представлена електронна схема перемикача подачі сигналів на підсилювачі. Контакти А, В, С, з'єднані з контактами виходу сигналів Генераторів і в нормально-вимкненому стані перемикача замкнуті з контактами А1, В1, С1, які в свою чергу відповідають входам підсилювачів.

Таблиця 2.3 – Призначення контактів дисплею

VSS	«-» Живлення
VDD	«+» Живлення
VO	Вихід управління контрастом
RS	Вибір регістру
RW	Вибір режиму запису або читання
E	Строб по спаду
DB0-DB3	Біти інтерфейсу
DB4-DB7	Біти інтерфейсу
A	«+» Живлення підсвічування
K	«-» Живлення підсвічування

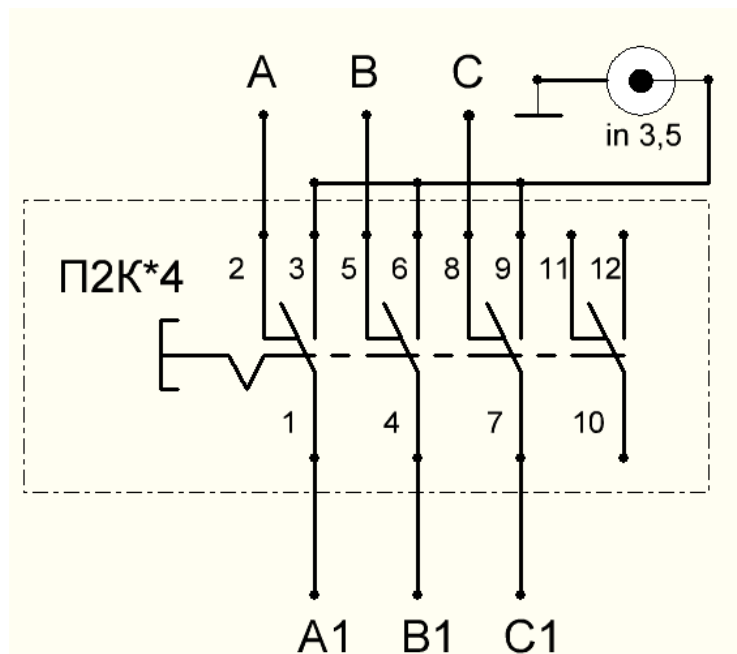


Рисунок 2.6 – Електронна схема перемикача

Таким чином в нормально-вимкненому положенні перемикача сигнали від генераторів А, В, С йдуть окремо на підсилювачі А, В, С. При нормально-увімкненому положенні всі три входи підсилювачів з'єднуються з

входом роз'єму формату 3,5 мм. І в такому випадку сигнал поданий на in 3.5 буде поданий на підсилювачі.

В якості підсилювача сигналів для динаміків було обрано схему (рис.2.7), одноканального аудіо підсилювача реалізованого на мікросхемі TDA2030.

Мікросхема підключена за схемою неінвертованого підсилювача. Коефіцієнт посилення визначається співвідношенням опорів резисторів R2 і R3, що утворюють ланцюг ООС. Обчислюється він за формулою:

$$G_v = 1 + R_3 / R_2$$

Таким чином може бути легко змінений підбором опору одного з резисторів. Зазвичай це роблять за допомогою резистора R2. Як видно з формули, зменшення опору цього резистора викличе збільшення коефіцієнта підсилення, тобто чутливості підсилювача НЧ. Ємність конденсатора C2 вибирають виходячи з того, щоб його опір ємність  $X_c = 1/2 \cdot F_c$  на нижчій робочій частоті було менше R2 принаймні в 5 разів. В даному випадку на частоті 40 Гц  $X_{c2} = 1 / 6,28 \cdot 40 \cdot 47 \cdot 10^{-6} = 85$  Ом. Вхідний опір визначається резистором R1. Як VD1, VD2 можна застосувати будь-які кремнієві діоди з струмом 1 А і Uзвор. більш 100 В, наприклад КД209, КД226, 1N4007

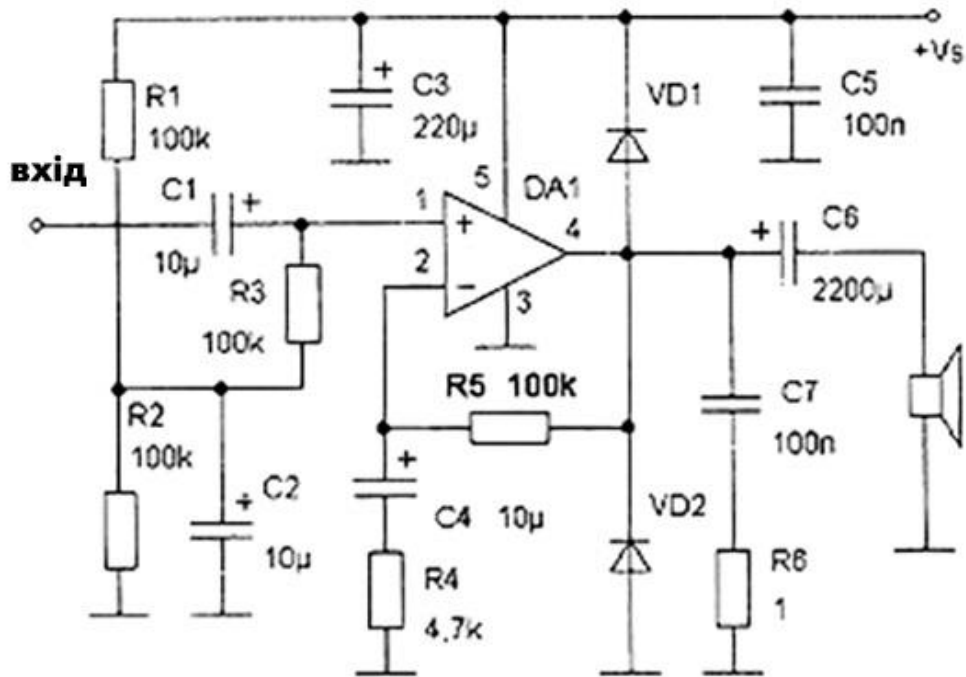


Рисунок 2.7 – Схема підсилювача

Мікросхема підсилювача НЧ TDA2030A фірми ST Microelectronics користується заслуженою популярністю. У (таб.2.4.), приведено гранично допустимі режими експлуатації TDA2030A . Ця мікросхема має високі характеристики і низьку вартість, що дозволяє при мінімальних витратах збирати на ній високоякісні УНЧ потужністю до 18 Вт, електричні параметри приведені у табл. 2.5. Мікросхема TDA2030A є 18 Вт підсилювач потужності класу АВ або драйвер для підсилювача НЧ потужністю до 35 Вт з потужними зовнішніми транзисторами. Вона забезпечує великий вихідний струм, має малі гармонійні і інтермодуляційні спотворення, широкую смугу частот підсилюється сигналу, дуже малий рівень власних шумів, вбудований захист від короткого замикання виходу, автоматичну систему обмеження потужності, що розсіюється, яка утримує робочу точку вихідних транзисторів ІМС в безпечній області. Вбудований термозахист забезпечує вимикання ІМС при нагріванні кристала вище 145° С. Мікросхема виконана в корпусі Pentawatt і має 5 контактів.

Таблиця 2.4 – Гранично допустимі режими експлуатації

Параметри	Умови	TDA2030A	Од. вим.
Напруга живлення	$U_{n1}$	6 ... 18	В
	$U_{p2}$	-6 ... -18	
Вхідна напруга	–	$\leq \pm 15$	В
Вихідний струм	–	$\leq 3,5$	А
Потужність, що розсіюється	при температурі корпусу 90 ° С	$\leq 20$	Вт
Опір навантаження	–	$\geq 3,2$	Ом
Тепловий опір	кристал - корпус	$\leq 3$	° С / Вт
Температура кристала	–	$\leq 145$	° С
Температура навколишнього середовища	–	-10 ... + 75	

Таблиця 2.5 – Електричні параметри TDA2030A

Параметри	Умови	TDA2030A	Од. вим.
Номінальна напруга живлення	двухполярної	$\pm 15 + 10\%$	В
	однополярної	$30 \pm 10\%$	
Вихідна напруга	при $U_{п} = \pm 16,5$ В	7 ... 7,9	В
струм споживання	при $U_{п} = \pm 16,5$ В	16 ... 56	мА

## Продовження таблиці 2.5.

Вихідна напруга спокою	при $U_{\Pi} = \pm 15 \text{ В}$	-20 ... + 20	мВ
Наведене до входу напруга шумів	при $U_{\Pi} = \pm 15 \text{ В}$	$\leq 10$	мкВ
Коефіцієнт посилення напруги	–	20 ... 31	дБ
Придушення пульсацій джерела живлення	–	$\geq 40$	дБ
Коефіцієнт ослаблення	на нижній граничній частоті	$\leq 3$	дБ
	на верхній граничній частоті	$\leq 3$	
Коефіцієнт гармонік	при $P_{\text{вих}} = 0,1 \dots 12 \text{ Вт}$ , при $U_{\Pi} = \pm 15 \text{ В}$	$\leq 0,5$	%
	при $P_{\text{вих}} = 15 \text{ Вт}$ , при $U_{\Pi} = \pm 15 \text{ В}$	$\leq 10$	
	при $P_{\text{вих}} = 10 \text{ Вт}$ , при $U_{\Pi} = \pm 13,5 \text{ В}$	$\leq 10$	
Гранична частота	нижня	10	Гц
	верхня	30	кГц
Вихідна потужність	при $R_{\text{н}} = 4 \text{ Ом}$	$\geq 15$	Вт

Виходячи з параметрів підсилувача для стенду було обрано круглі широкополосні динаміки моделі: YD103-60-8, параметри приведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри динаміків YD103-60-8

Номінальна потужність	20 Вт
Максимальна потужність	50 Вт
Частота	20 Гц - 5 КГц
Опір	8 Ом
Габаритні розміри	101x101x40мм
Кріпильні розміри	82x82мм

В якості лазерного випромінювача було обрано лазерний модуль ку-008, з можливістю налаштування фокусу променя. Параметри модуля ку-008 приведені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Параметри модуля ку-008

Тип випромінювання	Точка, безперервне випромінювання
Колір світіння	червоний
Довжина хвилі	635 нм
Напруга живлення	4.5 В
Потужність лазера	<5 мВт
Матеріал модуля	латунь
Розмір модуля	13 x 6 мм

Враховуючи параметри генераторів та підсилювачів, було прийняте рішення обрати живлення напругою 12 В. В ході випробувань максимальний струм при роботі трьох генераторів досягав 1.18 А. Виходячи з цих даних для живлення стенду було обрано імпульсний блок живлення з напругою 12 В та струмом 2 А, що в цілому дорівнює 24 Вт максимальної потужності

## 2.5 Послідовність дій під час роботи зі стендом

Розглянемо панель стенду (рис. 2.8), на панелі розміщено три дисплеї генераторів А,В,С, один над одним. З ліва біля дисплею кожного з генераторів знаходиться кнопка увімкнення/вимкнення сигналу. З права ручка енкодера з кнопкою.



Рисунок 2.8 – Панель стенду

При увімкненні стенду дисплеї індикації генераторів підсвітяться і на них відобразиться наступна інформація. У верхньому рядку індикатора з'явиться напис «freq:» від frequency (частота) із значенням 0 Гц, у нижньому рядку буде напис Ch9. by: із значенням 1. При повороті енодера за годинниковою стрілкою, значення частоти буде збільшуватись на 1Гц за один такт, при повороті проти годинникової стрілки частота буде зменшуватись на 1Гц. При натисканні кнопки енодера значення Ch9. by: у нижньому рядку дисплею зміниться з 1 на 10, при повторному натисканні параметр Ch9. by: зміниться з 10 на 100 і при наступному натисканні на кнопку знову повернеться до значення 1. Тобто якщо частота змінюється при значенні Ch9. by:1 на 1 Гц, то при значенні Ch9. by: 10 частота буде змінюватись на 10 Гц, і аналогічно при Ch9. by:100 частота буде змінюватись на 100 Гц. Таким чином реалізовано зручне та швидке налаштування

потрібної частоти. В функціоналі генераторів не передбачено зміну широтно-імпульсної модуляції сигналу, таким чином на всіх частотах скважність сигналу дорівнює 50%.

Кнопка mode, з фіксією, призначена для перемикання режиму роботи стенду. В нормально вимкненому положенні кнопки сигнал йде на підсилювачі від генераторів, при переведенні кнопки в нормально увімкнене входи підсилювачів з'єднуються з входом in 3.5. в такому випадку всі три динаміки будуть генерувати поданий сигнал на in 3.5, як варіант можна подати будь який сигнал складнішої форми, або спостерігати за поведінкою фігур на екрані при програванні будь-якої музики.

Лазерний промінь треба спрямувати на дзеркало закріплене на поверхні мембрани таким чином щоб відбитий промінь потрапляв у центр координат на екрані. Таким чином змінюючи частоти їх кількість та співвідношення будемо отримувати різні фігури на екрані. Для зручності проведення експерименту на панелі управління стенду з лівого боку бля індикатора кожного з генераторів передбачено вимикач який обриває сигнал між генератором та підсилювачем. Таким чином під час експерименту можна подавати сигнали з одного, двох, або трьох генераторів, в потрібний момент вмикати необхідний сигнал.

### 3 АНАЛІЗ ГРАФІКІВ

#### 3.1 Аналіз графіків з різним співвідношенням частот та фаз

Далі приведені розрахункові графіки фігур Лісажу в програмі Mathcad за формулою:

$$x(t) := A \cdot \sin(a \cdot t + \delta)$$

$$y(t) := B \cdot \sin(b \cdot t)$$

де:  $x(t)$  – сигнал осі  $x$ ;

$y(t)$  – сигнал осі  $y$ ;

$A, B$  – амплітуди сигналів;

$a, b$  – співвідношення частот;

$\delta$  – зсув фаз;

Для визначення співвідношення частот  $a$  до  $b$  скористаємось формулою:

$$a = F1/F2$$

де  $F1$  – частота сигналу  $x(t)$ ;

$F2$  – частота сигналу  $y(t)$ ;

За умовою,  $b = 1$ ;  $A = B = 1$ ;

Для розрахунків графіків порівнянь частот, за основу було взято  $F_{\max} = 240$  Гц, з міркувань кратності  $a$ , та зменшенням  $F2$  на 10 Гц до 20 Гц. Таким чином співвідношення порівнюваних частот буде від 1 до 12.

Розрахунки графіків співвідношення  $a$  до  $b$  було зроблено при трьох значеннях  $\delta$ , коли  $\delta = \pi/2$ ;  $\delta = 3\pi/4$ ; та  $\delta = \pi$ , графіки при  $\delta = 0$ , та  $\delta = \pi/4$ , не представлені оскільки вони будуть дзеркальними до  $\delta = 3\pi/4$ ; та  $\delta = \pi$ .

Розрахункові графіки зі значанням  $a > 1$  представлені в додатку А.

Проаналізувавши графіки можна помітити наступні залежності:

а) у випадку зсуву фаз при  $\pi/2$  фігури залишаються симетричними відносно осі  $y$ , при всіх значеннях  $a$ ;

б) при  $\delta = \pi$  фігура завжди пертинає точку  $0$  на системі координат, залишаються дзеркально симетричними;

в) на графіках при всіх значеннях  $\delta$  та  $a =$  всім значення натуральних чисел, чітко постежується кутове зміщення проєкції фігури між фазами;

г) фігури з  $\delta = 3\pi/4$  залишаються симетричними відносно осі  $x$ , при кратних наченнях коли  $a$  дорівнює парним числам, та набуває дзеркально симетричної форми до осей координат при значеннях  $a$  що дорівнюють не парним натуральним числам, винятком є симетричність фігури до осі  $y$  коли  $a = 1,5$ ;

д) форма фігур співпадає при  $\delta = \pi/2$ ,  $a = 1,5$ , та  $\delta = \pi$ ,  $a = 1,5$ . Далі розглянемо графіки фігур тих самих значень  $\delta$ , але при  $a < 1$ .

Розрахункові графіки зі значанням  $a < 1$  представлені в додатку А.

Розглянувши фігури при значеннях  $a < 1$ , знаходимо наступні залежності:

а) візуальний ефект, розкручування фігур спрямоване в протилежному напрямку ніж при значеннях  $a < 1$ ;

б) при зменшенні значення  $a$  спостерігається виродження форми графіків з площини мінус  $y$  у  $\delta = \pi/2$  та  $\delta = 3\pi/4$ ;

в) при значенні  $a = 0,667$  фігура  $\delta = 3\pi/2$  набуває форми фігури  $\delta = 3\pi/4$   $a = 1,5$  але зі зміщенням на кут  $90$  за годинниковою стрілкою. При цьому фігура  $\delta = \pi/2$ ,  $a = 0,667$  аналогічна  $\delta = \pi/2$ ,  $a = 1,5$ ;

г) фігури  $\delta = \pi/2$ , та  $\delta = \pi$ , при значенні  $a = 0,5$  ідентичні фігурі  $\delta = \pi$ , при  $a = 2$ , розвернутій на кут  $90$  за годинниковою стрілкою, а  $\delta = 3\pi/4$ ,  $a = 0,5$ , ідентична а  $\delta = \pi/2$ ,  $a = 2$ , з тим же поворотом на  $90$  градусів;

г) всі фігури при значеннях  $a = 0,333$ , аналогічні фігурам при  $a = 3$ , та поворотом на той же кут  $90$  градусів або інверсією осей і зміною на дзеркальне відображення фігури  $\delta = \pi$ ;

д) також чітко вираженою особливістю є збільшення кількості синусоїд у формі фігури по осі  $x$  при збільшенні значення  $a$ , та зменшенню кількості синусоїд у фігурі по осі  $y$  при зменшенні значення  $a$ .

Враховуючи знайдені закономірності при міні параметрів сигналів можна класифікувати невідому фігуру за формою.

### 3.2 Порівняння розрахункових графіків та фігур зі стенду

Розглянемо  $\Phi$  отримані зі стенду, на рис. 3.1,  $\Phi$  зі співвідношенням частот  $F1 = 240$ ,  $F2 = 240$ , в даному випадку отримали еліпс що відповідає розрахунковому графіку  $a = 1$ ,  $\delta = 3\pi/4$ , але фаза в даному випадку зміщена в протилежному боці тобто  $\delta = \pi/4$ . Також сама  $\Phi$  відносно центру розвернута приблизно на  $2/3$  до осі  $x$ , та спостерігається малопомітна деформація, яку можна пояснити нелінійними спотвореннями в самій мембрані, наприклад нерівномірність натягіння, або встановлення моди коливань мембрани відносно дзеркала, проте в цілому  $\Phi$  відповідає розрахунковій.

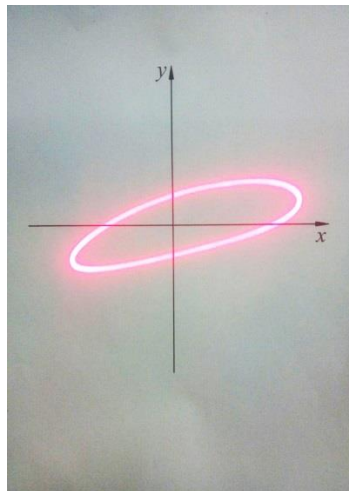


Рисунок 3.1 –  $F1 = 240$ ,  $F2 = 240$

Наступна  $\Phi$  (рис. 3.2), являє собою візуальний ефект коли еліпс зменшується та збільшується в розмірі під час обертання навколо осі  $y$ .

Звісно на фото це буде виглядати як один з періодів перетворення еліпса. Як і перша  $\Phi$  дана  $\Phi$  знаходиться під тим же кутом. Можемо зробити висновок що розрахунковий графік частково відповідає спостережуваному ефекту беручи до уваги відхилення.

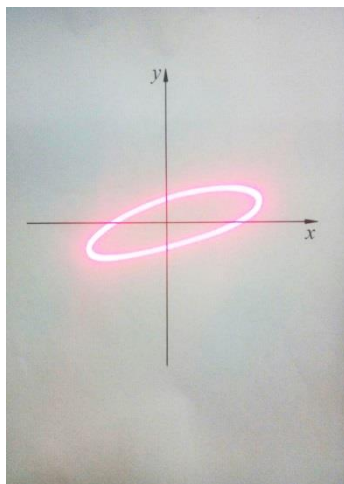


Рисунок 3.2 –  $F1 = 240$ ,  $F2 = 230$

На рис. 3.3 отримано  $\Phi$  яку можна характеризувати як накладання еліпсів різної конфігурації з ефектом перетікання ліній їх перетину. В основі отриманої фігури можна помітити зациклений фрагмент  $\Phi$  з розрахункового графіку.

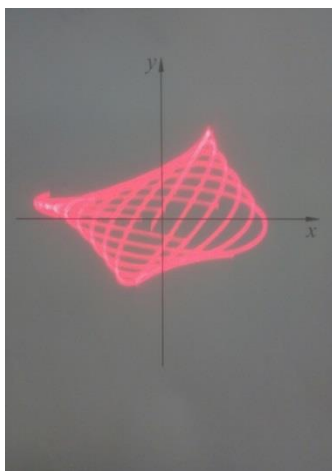


Рисунок 3.3 –  $F1 = 240$ ,  $F2 = 220$

На рис. 3.4 фрагмент циклу  $\Phi$  що нагадує круглу пружину замкнуту в тороїд яка обертається навколо осі  $y$ .

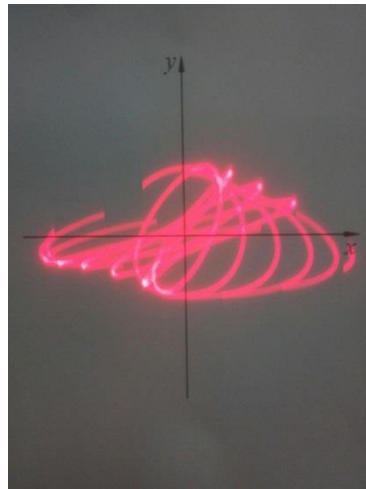


Рисунок 3.4 –  $F1 = 240, F2 = 210$

На наступному рисунку  $\Phi$  подібна до попередньої проте відмінною особливістю є зменшення ліній перпендикулярних до осі  $x$  та збільшення до осі  $y$ . Швидкість ефекту обертання помітно зменшується (рис. 3.5).

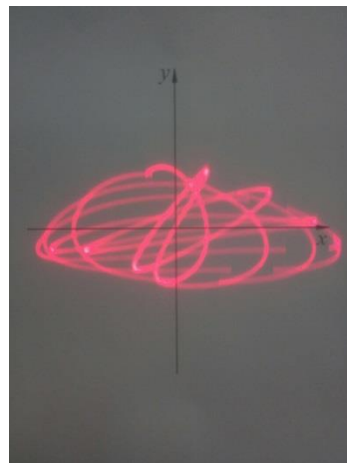


Рисунок 3.5 –  $F1 = 240, F2 = 200$

На (рис.3.6), простежуються зміни  $\Phi$  з тими ж закономірностями як і в попередньому випадку. Ефект обертання присутній, але дуже повільний,  $\Phi$

різко збільшується в розмірі, що вказує на збільшення коливань мембрани, також  $\Phi$  різко збільшується відносно осі  $y$ .

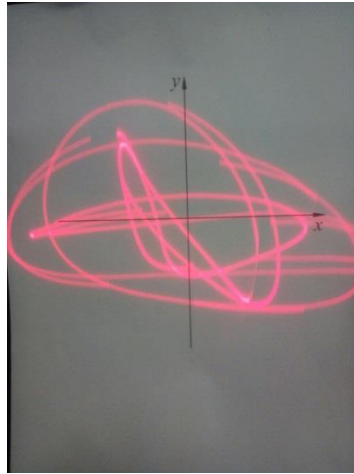


Рисунок 3.6 –  $F1 = 240, F2 = 190$

Наступна фігура з параметром  $a = 1,333$ .  $\Phi$  майже не рухома та виходить за рамки області графіків по осі  $y$ , в порівнянні з розрахунковим графіком помітна зміна фази з  $\delta = \pi/4$  на  $\delta = \pi$ . Візуально здається що  $\Phi$  утворена трьома окремими еліпсами накладеними один на одного під різними кутами.

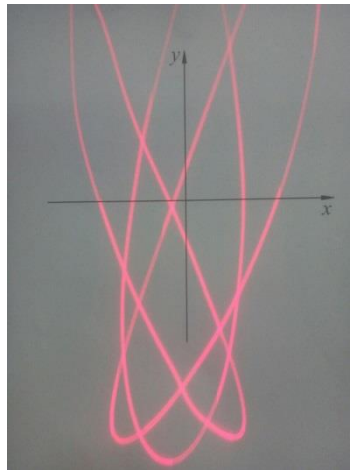


Рисунок 3.7 –  $F1 = 240, F2 = 180$

На рисунку 3.8  $\Phi$  різко змінюється і починає швидко обертатись навколо точки перетину координат. Форму можна описати як накладання на багатьох еліпсів різого розміру та конфігурації із збільшенням еліпса по осі  $x$  та малопомітному зменшенні по осі  $y$ .

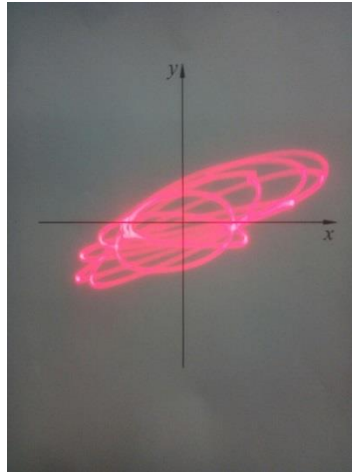


Рисунок 3. 8 –  $F1 = 240, F2 = 170$

На (рис.3.9),  $\Phi$  нагадує форму утворену накладанням трьох еліпсів зі зміщенням центрів вздовж однієї прямої що перетинає точку відліку координат. Отримана  $\Phi$  не має нічого візуально спільного з будь якою з розрахункових, але простежується закономірність як і в фігурах Лісажу, коли кількість точок перетину  $\Phi$  та виступаючих частин відповідають співвідношенню частот.

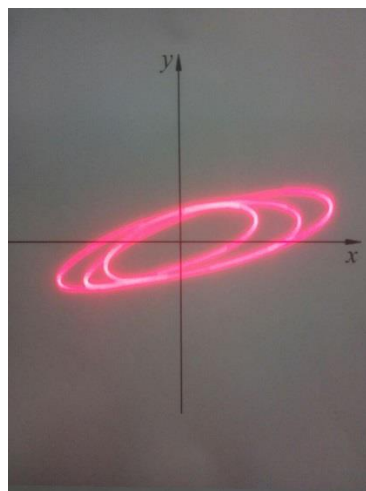


Рисунок 3.9 –  $F1 = 240, F2 = 160$

Наступна фігура (рис. 3.10) нагадує попередню проте з більшою кількістю еліпсів які ніби перемішуються між собою при чому промінь не перетинає точку відліку координат що вказує на зміну фази оскільки при  $\delta = \pi/2$  промінь завжди перетинає точку відліку координат.

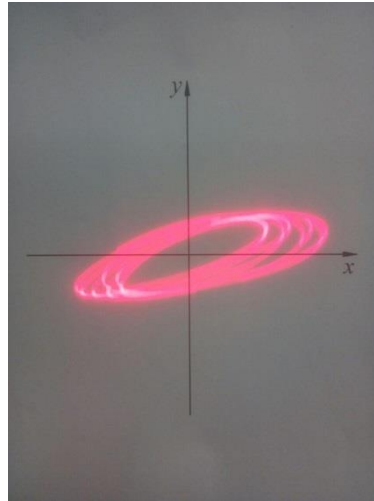


Рисунок 3.10 –  $F1 = 240, F2 = 150$

Наступні дві фігури на (рис.3.11) та (рис.3.12) візуально нічим не відрізняються в процесі видимого ефекту обертання еліпсів окрім швидкості і також нічим не схожі на розрахункові фігури.

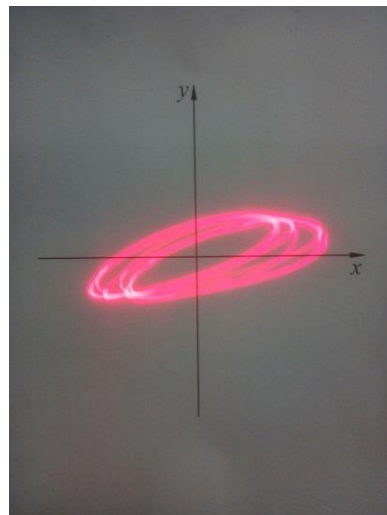
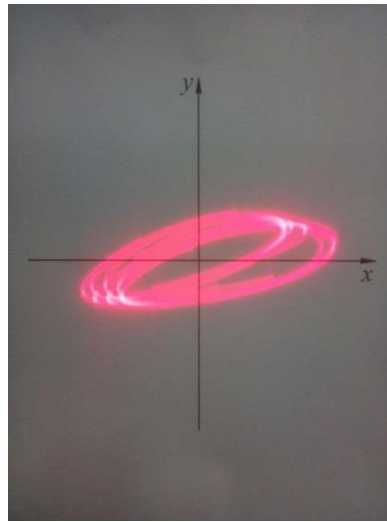
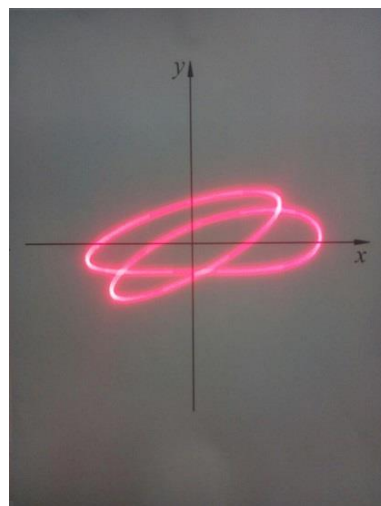


Рисунок 3.11 –  $F1 = 240, F2 = 140$

Рисунок 3.12 –  $F1 = 240, F2 = 130$ 

На (рис.3.13), зображена майже статична  $\Phi$  що нагадує одну з Фігур Мебіуса, добре видно що лазер описує два еліпси утворені однією лінією. Дана фігура відповідає розрахунковому графіку  $\delta = 3\pi/4$  та  $a = 2$ , але з сильно вираженою деформацією по осі  $y$ . таким чином бачимо, що при даному співвідношенні частот спостерігаються одні й тіж закономірності, але вилимими спотвореннями.

Рисунок 3.13 –  $F1 = 240, F2 = 120$ 

Фігура на (рис.3.14) нагадує траєкторію обертання супутника з перетином в одній точці та зміщення орбіти на певний кут.

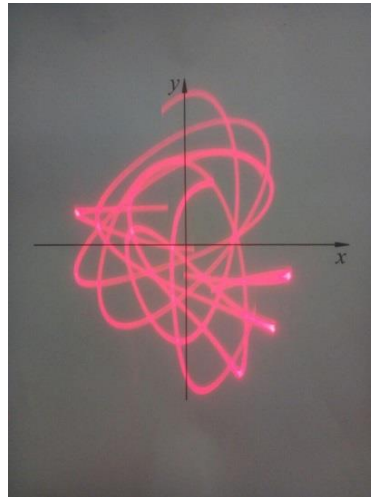


Рисунок 3.14 –  $F1 = 240, F2 = 110$

Фігура на (рис.3.15), нагадує Фігуру Мебіуса утворену потрійним переплетенням еліпса та накладанням цих  $\Phi$  з помітним відхиленням. Також не прослідковується подібність з розрахунковими  $\Phi$ .

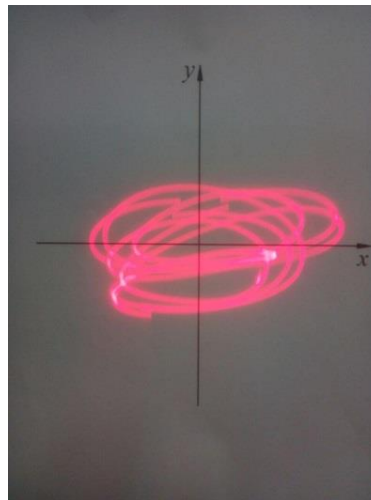


Рисунок 3.15 –  $F1 = 240, F2 = 100$

У  $\Phi$  на рис. 3.16 прослідковується подібність до  $\Phi$  на рис.3.14, але з більшою кількістю точок перетину в еліптичній орбіті.

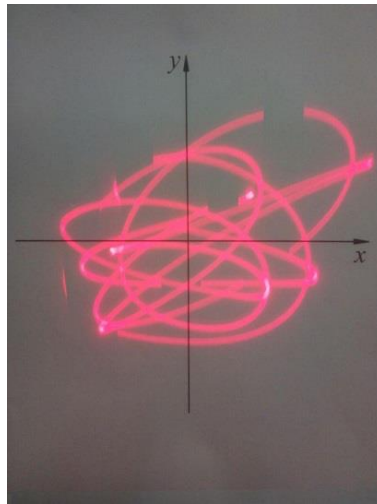


Рисунок 3.16 –  $F1 = 240, F2 = 90$

На рис.3.17  $\Phi$  чітко утворена однією лінією, спостерігається видимий ефект перекручування вузлів в середині  $\Phi$ . Дана фігура утворена цілим кратним числом співвідношення частот.

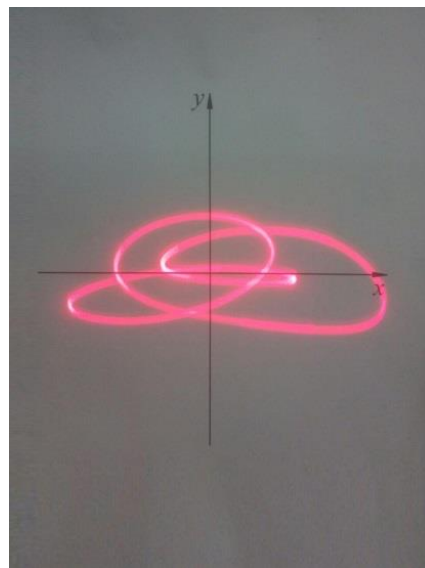


Рисунок 3.17 –  $F1 = 240, F2 = 80$

У  $\Phi$  на рис.3.18 важко знайти хоч якусь закономірність через щільне переплетення хаотичних ліній які переплітаються між собою.

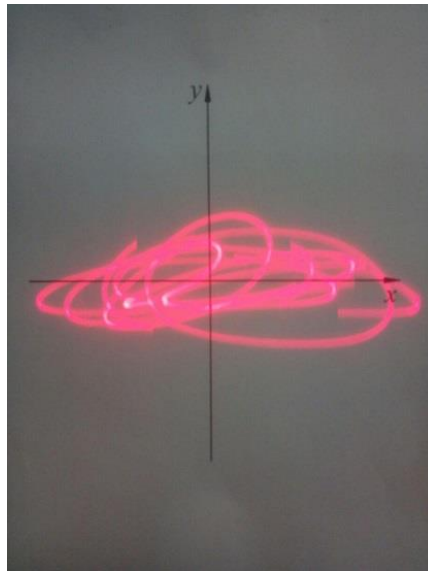


Рисунок 3.18 –  $F1 = 240, F2 = 70$

На рис.3.19,  $\Phi$  повільно обертається та циклічно переплітається у формі, прослідковується подібність до  $\Phi \delta = \pi/2$  та  $a = 0,833$ .

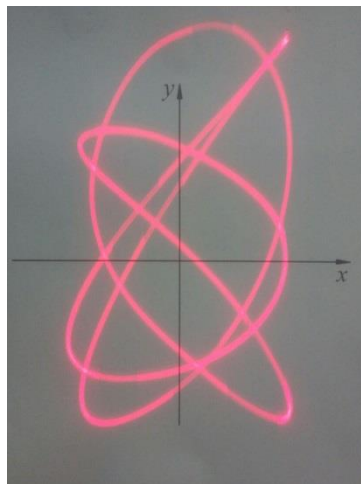


Рисунок 3.19 –  $F1 = 240, F2 = 60$

Наступна  $\Phi$  подібна до  $\Phi$  на рис.3.11, але зі значно більшою кількістю еліпсів, швидкістю їх обертання та переплетіння між собою.

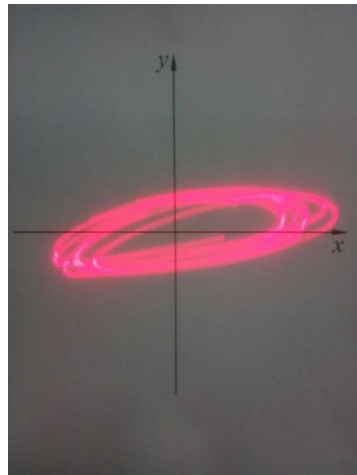


Рисунок 3.20 –  $F1 = 240, F2 = 50$

Фігура на рис.3.21 як і на рис.3.18, вічко піддається аналізу, але в даному випадку кучність еліпсів значно більша.

На рис. 3.22  $\Phi$  подібна до  $\Phi$  на рис.3.10, але значно більшою кількістю еліпсів та їх розкидом навколо осі обертання.

У  $\Phi$  на рис.3.23 прослідковується подібність до розрахункової  $\Phi$   $\delta = \pi/2, a = 0,533$ .

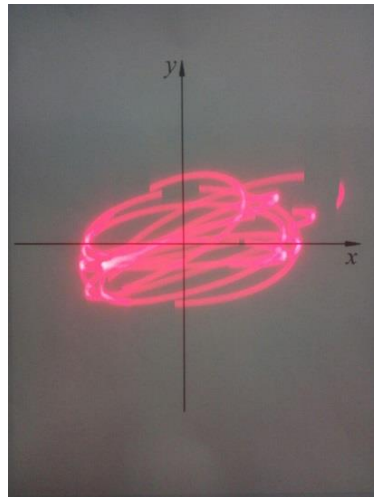
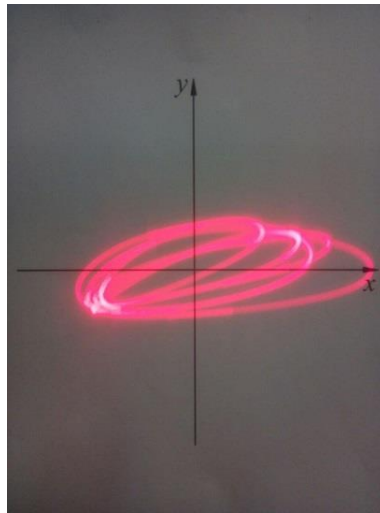
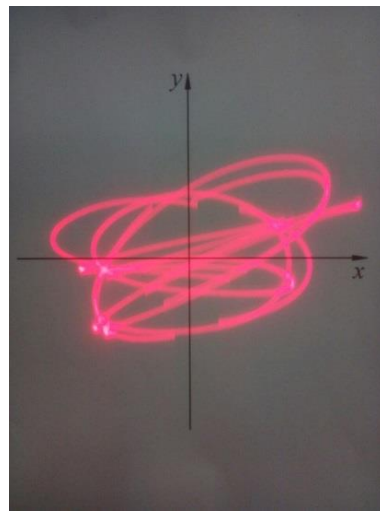


Рисунок 3.21 –  $F1 = 240, F2 = 40$

Рисунок 3.22 –  $F1 = 240$ ,  $F2 = 30$ Рисунок 3.23 –  $F1 = 240$ ,  $F2 = 20$ 

З аналізу помітно що не всі  $\Phi$  відповідають розрахунковим, це може бути з причин нерівномірності натягування мембрани або зміни позицій мод стоячих хвиль мембрани. Дослідження імовірності цих причин виходить за рамки даної роботи оскільки потребує певного обладнання в особливості камер з високошвидкісною зйомкою для аналізу коливань мембрани та переміщення точки на системі координат.

В ході експериментального дослідження було отримано декілька візуально гармонійних зображень з наступним співвідношенням частот:

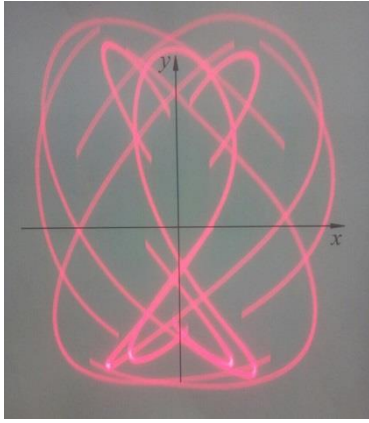


Рисунок 3.23 –  $F1 = 183$ ,  
 $F2 = 250$

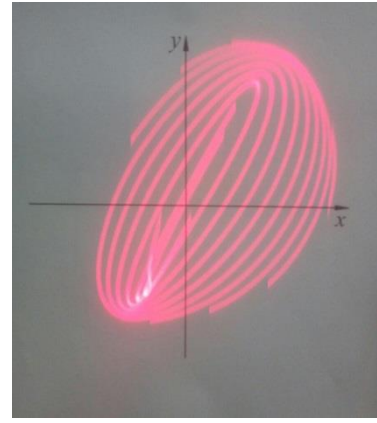


Рисунок 3.24 –  $F1 = 240$ ,  
 $F2 = 232$

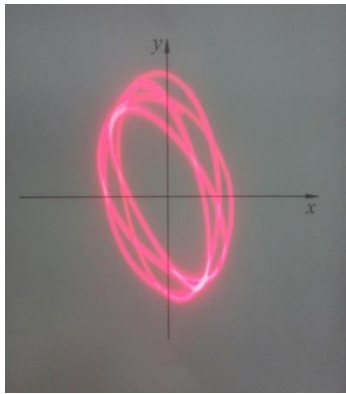


Рисунок 3.25 –  $F1 = 289$ ,  
 $F2 = 232$

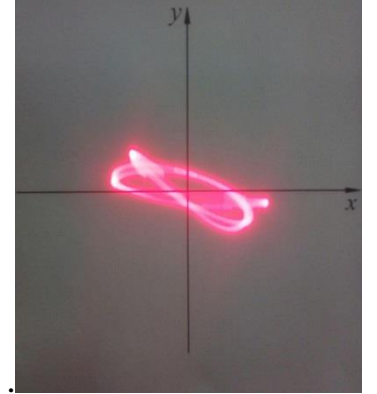


Рисунок 3.26 –  $F1 = 289$ ,  
 $F2 = 250$

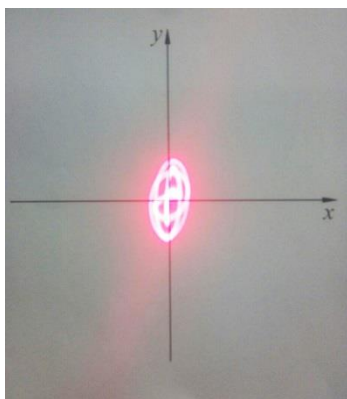


Рисунок 3.27 –  $F1 = 353$ ,  
 $F2 = 282$

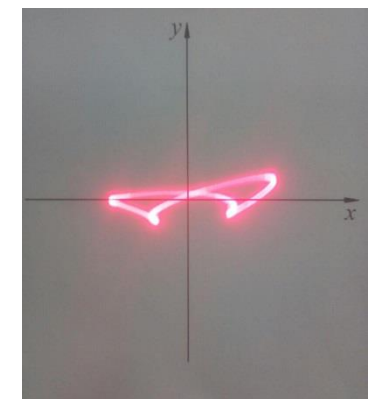


Рисунок 3.28 –  $F1 = 83$ ,  
 $F2 = 94$

## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОБОТИ

### 5.1. Розрахунок разових витрат на розробку стенду

Разові витрати на створення стенду визначаються за формулою:

$$K = K_c + K_{ктз}$$

де  $K_c$  – витрати на створення стенду, грн.;

$K_{ктз}$  – капітальні витрати на придбання комплектуючих, грн.

Витрати на створення стенду  $K_c$  включають наступні витрати:

- на проектування стенду;
- на закупку комплектуючих;
- на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування;
- на розробку та відладку стенду (згідно з табл. 4.1).

Для визначення часу очікування, за який необхідно зробити певний етап роботи (табл. 5.1) скористаймося наступною формулою:

$$t_{оч} = \frac{3t_{max} + 2t_{min}}{5},$$

де  $t_{max}$  – це максимальний час, за який необхідно виконати етап,

$t_{min}$  – мінімальний час виконання роботи.

До складу капітальних витрат  $K_{ктз}$  входять витрати на придбання комплексу технічних засобів та його стандартного забезпечення, а також витрати на створення монтаж та налагодження.

Дамо оцінку придбання комплектуючих (табл. 5.2) для створення стенду.

Таблиця 4.1 – Витрати на створення стенду

Найменування роботи	Часові оцінки, днів			Виконавці		Трудомісткість, люд.днів	Оклад, грн / день на 1 люд.	Плата / день
	t <sub>min</sub>	t <sub>max</sub>	t <sub>оч</sub>	Кваліфікація професійна	Кількість люд.			
Аналіз, узгодження та затвердження технічного завдання	2	4	3	Інженер електронік	1	1	750	750
Збирання макету	2	4	3	Слюсар КВПіА	1	1	620	620
Оформлення технічної документації	5	7	6	Розробник	1	1	620	620
Всього	9	15	12	-	3	3	1990	1990

Для підрахунку загальних витрат на оплату праці дня створення стенду скористаємося наступною формулою:

$$K_c = T_{\text{лд}} \times \Pi_{\text{д}},$$

де  $T_{\text{лд}}$  – трудомісткість людино-днів;

$\Pi_{\text{д}}$  – загальна плата за день.

Сумарні людино-години є результатом множення кількості працівників на час, витрачений на роботу. Тобто робота має трудовитрати в 40 людино-годин, якщо 1 людина виконує її за 40 годин; або 2 людини за 20 годин; або 4 людини за 10 годин; і т.д.

Розрахунок заробітної плати за день має наступний вигляд.

$$\Pi_{\text{д}} = C_{\text{год}} \times K_{\text{год}},$$

де  $C_{\text{год}}$  – ставка за годину;

$K_{\text{год}}$  – кількість годин за зміну.

Замість окладу застосовується ставка за годину роботи або за день, розрахунок зазнає суттєвого спрощення. Потрібно лише кількість відпрацьованих днів (годин) перемножити на ставку. Наприклад, працівник відпрацював у місяці тільки 5 змін, а денна ставка у нього дорівнює 900 гривень, таким чином отримуємо  $5\text{змін} \times 900\text{ гривень}$  за зміну дорівнює 4500 грн

Таким чином:  $K_c = 3 \times 1990 = 3490$  грн (загальні витрати на створення стенду).

Для створення стенду згідно схем представлених у розділі 4 необхідні наступні комплектуючі та витратні матеріали, представлені у таблиці 5.2 з їх найменуванням, кількістю та середньою ринковою вартістю.

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на технічні засоби та матеріали

Найменування	Одиниця виміру	Ціна за одиницю вим., грн	Кількість од.вим.	Сума витрат, грн.
1	2	3	4	5
LCD 1602 дисплей	шт	80	3	240
Плата Arduino Nano v3 16 МГц ATmega328 P-20AU CH340	шт	120	3	360
Перемикач П2К	шт	25	1	25
Підсилювач TDA2030	шт	40	3	120
Перемикач KCD1-11	шт	6	3	18
Блок живлення PROLUM 24Вт 12В 2А	шт	120	1	120
Клемна колодка аудіо 4Pin	шт	10	1	10
Лазерний випромінювач 5мВт 5В червоний 650нм	шт	10	1	10
Транзистор bc547	шт	1	3	3
Плата РСВ 5x7 см	шт	22	2	44
Роз'єм живлення COLARIX АКВ-РСМ-002	шт	18	1	18
Роз'єм RJ-324-5P 3.5 мм	шт	9	1	9
Кабель AUX 3.5 / 3.5mm	шт	28	1	28
Модуль енкодера KY-040	шт	40	3	120
Комплектуючі ПВХ труб	шт	90	2	180

## Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5
Кабель AWG 24	м	4	8	32
Динамік BIG SYP5.5 8Om	шт	140	3	420
Виконання лазерної різки деталей з урахуванням матеріалу	1	311	1	311
Потенціометри 3590S-2-103-10K	шт	45	3	135
Ручки для енкдерів	шт	5	3	15
Шурупи 2,9 x 1,9 мм	упаковка	1	35	35
Скотч 2 стор	шт	1	20	20
Дзеркало	шт	1	10	10
Мембрана силіконова	шт	1	30	30
Трубка термоусадна	шт	2	5	10
Разом	-	-	-	1894
Транспортно-заготівельні витрати	-	-	-	230
Всього	-	-	-	2545

Стенд не передбачає витрат на утримання та експлуатацію, що є безперечною перевагою.

Розрахуємо сумарні разові витрати, що містять витрати на оплату праці виготовлення макету та придбання комплектуючих.

$$K = 3490 + 2545 = 6135 \text{ грн.}$$

Таким чином визначено разові витрати, необхідні для створення демонстраційного стенду в рамках даної роботи.

Оскільки стенд в рамках проекту виконаний в одиничному екземплярі то в даному розділі не передбачено розрахунку економічної ефективності проекту. Проте при серійному виготовленні розробки, в залежності від кількості одиниць, можливе значне зниження собівартості стенду за рахунок оптових закупівель комплектуючих та узгодження договору на мінімізацію витрат оплати праці.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В даній дипломній роботі розроблено демонстраційний стенд для профорієнтаційної роботи, що передбачає для цього наявність робочого місця. Серед основних приміщень, де проводяться роботи у цій галузі, можуть також бути офісні, адміністративні, підсобні приміщення, бібліотеки, житлово-побутові та технічні приміщення.

Також слід пам'ятати, що специфіка діяльності у галузі, може включати в себе роботи на відкритій місцевості, погодних умов, наявністю різного роду біологічних чинників ризику (флора, фауна тощо). Обладнання, яке використовується у галузі радіотехніки, можна умовно розподілити на три групи:

а) обладнання, яке безпосередньо забезпечує робочий процес (наприклад, комп'ютерна та різноманітна периферійна техніка при роботах в офісі);

б) обладнання, яке підтримує комфортні умови праці (наприклад, опалювальні прилади, кондиціонери, іонізатори повітря для забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату в приміщеннях);

в) матеріали та інструменти з якими працюють при розробці проекту, макету в майстерні, (наприклад, конструкційні матеріали, лакофарбові матеріали, пластики, токсичні речовини, флюси, кислоти та розчинники, тощо).

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек

При роботі, де проводяться роботи у галузі радіотехніки, можливі такі потенційні небезпеки:

– ураження електричним струмом, у наслідок несправності електробообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні

електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

- механічне травмування в наслідок не раціонального розташування робочих місць;

- нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру;

- негативні відносини у колективі в наслідок постійних емоційних зривів, які призводять до підвищених емоційних навантажень;

- кістково-м'язові порушення, у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг, що призводить до ушкодження опорно-рухового апарату;

- негативний вплив електромагнітних, в тому числі і рентгенівських випромінювань при використанні моніторів персональних комп'ютерів (далі ПК) з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршень зору, зниження імунітету;

- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

- підвищений рівень шуму, який створюється перетворювачем напруги електронно-обчислювальної машини (далі ЕОМ), її технічною периферією, а також людьми, що працюють у приміщенні, і який призводить до погіршення слуху;

- незадовільні параметри мікроклімату робочого місця, у зв'язку із відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, які можуть викликати загальні захворювання;

- вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей;

– вірогідність отруєння токсичними речовинами, у зв'язку нехтуванням правилами роботи з токсичними речовинами, а також використанням засобами індивідуального захисту;

– вірогідність травмування інструментом, у зв'язку порушенням правил безпеки, або нехтуванням інструкціями з експлуатації інструменту та обладнання.

## **5.2 Заходи по забезпеченню безпеки**

Для забезпечення безпеки у офісних приміщеннях на робочому місці існують різноманітні заходи.

У приміщенні офісу застосовується широке різноманіття електроприладів: персональні комп'ютери, принтери, ксерокси, факси, освітлювальні прилади, кондиціонери, побутові електроприлади тощо. Небезпека ураження електричним струмом при використанні цих приладів з'являється при недотриманні заходів обережності, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення – 4 Ом; НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок», приміщення, в якому розташовуються ЕОМ, різноманітне устаткування, відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения»

обладнання офісу має подвійну ізоляцію, яка складається з робочої та додаткової ізоляції; ГОСТ 12.2.007.0-75\* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ по способу захисту людини від ураження електричним струмом, належать до І класу, оскільки мають подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом. Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів»

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок не раціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шії, рук і ніг необхідно виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу.

Для запобігання отруєння токсичними речовинами, передбачено наявність інструкцій та застережень по роботі з реактивами, обладнання робочих місць витяжками та засобами захисту органів зору та дихання, а також реактивами деактиваторами.

Для запобігання травмування інструментом під час роботи в приміщенні передбачено наявність інструкції з ілюстрацією використання інструменту, а також необхідні пристрої для фіксації потенційно небезпечних деталей інструменту.

### **5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці**

Внаслідок роботи за ПК, на фізіологію людини негативно впливають електромагнітні випромінювання. Щоб зменшити наслідки впливу на людину та знизити негативні показники у робочій зоні до допустимих значень, згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75 «Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», вироби, які створюють електромагнітні поля, повинні мати захисні елементи (екрани, поглиначі і т.д.). Вимоги до захисних елементів повинні бути вказані в стандартах та технічних умовах на конкретні види виробів. Згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» та ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», на робочих місцях обладнаних ПК встановлені рідкокристалічні монітори, які не є джерелами рентгенівського та електромагнітного випромінювань.

Основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм.

Недостатнє освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

У офісному приміщенні, згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори.

Проведемо розрахунок штучного освітлення офісного приміщення.

Маємо такі вихідні дані: розміри приміщення (А x В x Н) - 12 x 6 x 3,3 м, тип світильника: растровий накладний світильник ЛПО, L/h - 1,4, колір стелі, стін, підлоги ( $\rho_{ст}$ ,  $\rho_{с}$ ,  $\rho_{п}$ ) - 70%, 50%, 30%.

Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні  $N_p$  :

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}$$

де:  $B$  – ширина приміщення, м;

$H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні, м;

$[L/h]$  – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_p = \frac{6}{(3,3 - 0,8) \cdot 1,4} = 1,6 = 2 \text{ шт}$$

Визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників  $L_{max}$  :

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p}$$

де:  $B$  – ширина приміщення, м;

$N_p$  – кількість рядів світильників у приміщенні, шт.

$$L_{\max} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м};$$

Визначаємо значення індексу приміщення  $i$ , що характеризує співвідношення розмірів освітлювального приміщення і висоти розміщення світильників:

$$i = \frac{A \cdot B}{(H - h_p) \cdot (A + B)};$$

де:  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні, м.

$$i = \frac{12 \cdot 6}{(3,2 - 0,8) \cdot (10 + 6)} = \frac{72}{2,4 \cdot 16} = 1,6;$$

Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні  $\Phi_{\Sigma}$ :

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H \cdot A \cdot B \cdot k_z \cdot z}{\eta}$$

де:  $E_H$  – рівень нормованого загального освітлення, лк;

$A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$k_z$  – коефіцієнт запасу (для люмінесцентних ламп  $k_z = 1,4 \dots 1,7$ );

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), як правило дорівнює (для люмінесцентних ламп  $z = 1,1$ );

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \cdot 12 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,5} = 66528 \text{ лм};$$

Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні  $N_{c\delta}^*$ :

$$N_{c\delta}^* = \frac{A \cdot B}{L_{\max}^2}$$

де:  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$L_{\max}$  – максимально припустима відстань між рядами світильників, м.

$$N_{c\delta}^* = \frac{12 \cdot 6}{3^2} = 8 \text{ шт};$$

Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла  $\Phi_l^*$ :

$$\Phi_l^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_l^*}$$

де:  $\Phi_{\Sigma}$  – сумарний світловий потік освітлювальної установки, лм;

$N_l^*$  – загальна кількість ламп у світильнику, яка розраховується за формулою:

$$N_l^* = N_{c\delta}^* \cdot n = 8 \cdot 4 = 32, \text{ шт};$$

де:  $n$  – кількість ламп у світильнику, шт.

$$\Phi_l^* = \frac{66528}{32} = 2079 \text{ лм};$$

Вибираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи  $\Phi_l$  і знаходимо коефіцієнт  $m$  (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи  $\Phi_l^*$  та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи  $\Phi_l$ ):

$$m = \frac{\Phi_l^*}{\Phi_l} = \frac{2079}{1200} = 1,73$$

Визначаємо оптимальну (фактичну) кількість світильників у приміщенні  $N_{c\delta}$ :

$$N_{c\delta} = N_{c\delta}^* \cdot m$$

де:  $N_{ce}^*$  – умовна загальна кількість світильників у приміщенні, шт.

$m$  – співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи.

$$N_{ce} = 8 \cdot 1,98 = 15,84 = 16 \text{ шт};$$

Визначаємо фактичну кількість ламп у приміщенні  $N_l$ :

$$N_l = N_{ce} \cdot n,$$

де:  $N_{ce}$  – оптимальна (фактична) кількість світильників у приміщенні, шт;

$n$  – кількість ламп у світильнику, шт.

$$N_l = 16 \cdot 4 = 64 \text{ шт};$$

Визначаємо загальну розрахункову освітленість  $E_p$  у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N_l \cdot \eta}{A \cdot B \cdot k_z \cdot z}$$

де:  $\Phi_l$  – фактичний світловий потік вибраної стандартної лампи, лм;

$N_l$  – фактична кількість ламп у приміщенні, шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$k_z$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості.

$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N_l \cdot \eta}{A \cdot B \cdot k_z \cdot z} = \frac{1200 \cdot 64 \cdot 0,5}{12 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 346,3 \text{ лк}.$$

Отже, загальна розрахункова освітленість дорівнює 346,3 лк, що відповідає нормам освітленості робочого приміщення.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин»

та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в приміщенні офісу може призвести до негативних впливів на здоров'я працівників у вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо.

Для підвищення рівня професійної компетенції працівників, а також для зниження негативного впливу нервово-психічних перевантажень, що пов'язані з роботою з клієнтами, колегами по роботі, керівництвом, контрагентами при вирішенні робочих питань передбачено забезпечення психологічного супроводу: формування ідеології безпеки та корпоративної культури, вивчення та створення в трудових колективах соціально-комфортного мікроклімату, який сприяє підвищенню особистісної активності персоналу в процесі трудової діяльності.

Використовувати з цією метою всі доступні форми пропаганди, активного впливу, безпосередньої роботи в трудових колективах, спрямовані на формування суспільної думки та ідеології по відношенню до охорони праці. Необхідно розробити та упровадити програму та механізми мотиваційного регулювання, що стимулює залучення персоналу до процесів управління, ухвалення рішень, розвитку творчої ініціативи.

Підбір та залучення до трудової діяльності (в першу чергу при небезпечних роботах) персоналу з урахуванням професійної компетенції, психофізіологічних якостей та особистих якостей (професійній придатності).

Метеорологічні умови в приміщенні офісу – температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Роботи в офісному приміщенні, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21-23 °С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22-24 °С; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень пристроями кондиціонування, вентиляції та дезодорації повітря, системами опалювання.

#### **5.4 Заходи з пожежної безпеки**

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі.

Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБН В. 1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» існують такі класи та підкласи:

– клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);

– клас Е (додатковий) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід проводити з урахуванням фізико-хімічних та пожежонебезпечних властивостей горючих речовин, їх взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок. Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для майданчиків та установок.

За таблицею щодо оснащення приміщень переносними вогнегасниками, приміщення, для виконується робота, відноситься до категорії громадських будівель і споруд з граничною захищеною площею  $800 \text{ м}^2$ , та класами пожежі А, Е. Загальна площа приміщення за даними дорівнює  $72 \text{ м}^2$ . Для приміщень даної категорії відстань від можливого осередку пожежі до місця розташування вогнегасника не повинна перевищувати 20 м. Для класу пожежі А,Е площею приміщення  $72 \text{ м}^2$  рекомендується два вуглекислотні вогнегасники місткістю 5 л.

Для адміністративних, побутових і громадських приміщень та споруд, залежно від їх призначення, рекомендуються димові, теплові або світлові пожежні сповіщувачі. Для ліквідації загорянь адміністративні, побутові і громадські приміщення та споруди на кожному поверсі повинні мати не менше двох переносних(порошкових, водопійних або водяних) вогнегасників з масою заряду вогнегасної речовини 5 кг і більше. Крім того, слід передбачати по одному вуглекислотному вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг і більше: на  $20 \text{ м}^2$  площі підлоги в таких приміщеннях: офісні приміщення з ПЕОМ, комори, електрощитові, вентиляційні камери та інші технічні приміщення.

Для забезпечення пожежної безпеки передбачено виконання організаційних та технічних заходів.

До організаційних належать інструктажі з пожежної безпеки згідно НАПБ А,01.00-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Технічні заходи базуються на виборі типу первинних засобів пожежогасіння та визначення їх необхідної кількості, згідно ГОСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

В якості первинних засобів пожежогасіння використовуються вуглекислотні вогнегасники, що дає змогу зберегти паперові носії інформації.

Приміщення обладнують автоматичними установками пожежосповіщення та пожежогасіння, які спрацьовують автоматично при перевищенні порогових значень температури або наявності продуктів горіння у приміщенні. Для адміністративних, побутових і громадських приміщень та споруд, залежно від їх призначення, рекомендуються димові, теплові або світлові пожежні сповіщувачі. Використовують водяні, пінні, газові, порошкові, аерозольні автоматичні пристрої пожежогасіння дренчерного або спринклерного типу.

### **5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях**

Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків виробничих аварій і катастроф.

Виробнича аварія — це раптова зупинка роботи або порушення установаного процесу виробництва на об'єкті, яка призводить до пошкодження або знищення матеріальних цінностей, травмування або загибелі людей.

Оскільки виробничі аварії зазвичай несуть великі руйнування, при ліквідації наслідків виробничих аварій застосовуються інженерна й інша спеціальна техніка: крани, бульдозери, екскаватори, компресорні станції,

самоскиди. Важкі тягачі з тросами для розтягування і розведення великих залізобетонних конструкцій, вертольоти великої вантажопідйомності і металорізальні установки.

Використовуються також засоби малої механізації: домкрати, лебідки, мотопилки, гасорізи, електронасоси й ін. Рятувальні роботи в місцях аварії, як правило, проводяться в умовах загазованості, а при пожежах — задимленості і високих температур; щоб забезпечити безперервність роботи з наростаючим темпом, сили ЦО поділяють на зміни і виділяють резерви.

На кожен ділянку призначається керівник з числа відповідальних посадових осіб об'єкта або керівників ЦО і фахівців служб ЦО. Він повинен поставити завдання формуванням, вказати терміни і способи їх виконання, визначити порядок матеріального, технічного й інших видів забезпечення, організувати роботи, своєчасну зміну, відпочинок і харчування особового складу.

Рятувальні роботи і допомога потерпілим організовуються негайно після виникнення аварії. Також відразу вживаються заходи до локалізації і гасіння пожеж, без цього неможливе виконання інших робіт. Ухваленню рішення на проведення РІНР передують ретельна розвідка. Основні її завдання виявити обстановку, що склалася, визначити характер руйнувань і обсяг невідкладних робіт, умови, у яких потрібно вести ці роботи. У ході розвідки визначаються місцезнаходження постраждалих людей, намічаються способи їх порятунку і шляхи евакуації. Розвідку організовує керівник — начальник ЦО об'єкта (або голова надзвичайної комісії) за допомогою розвідувальних формувань і при обов'язковій участі провідних спеціалістів.

До місця виробничої аварії першими повинні прибувати протипожежні команди, підрозділи міліції, машини швидкої медичної допомоги.

Ліквідація наслідків аварії може здійснюватися одночасно на всьому об'єкті чи на окремих ділянках у тих випадках, коли мається достатня кількість сил і засобів, роботи проводяться відразу на всій площі. Якщо сил недостатньо, роботи доводиться проводити послідовно. При цьому в першу

чергу їх починають там, де необхідно надати допомогу людям, і на ділянках, які становлять найбільшу небезпеку.

Перша медична і лікарська допомога надається постраждалим, які знаходяться в стані шоку, а також звільненим з під невеликих завалів і уламків. Витягування людей з під великих завалів здійснюється з дотриманням заходів безпеки, їм надається невідкладна медична допомога з наступною евакуацією в лікувальні установи. Будьяке підприємство має свої особливості, які можуть бути невідомі рятувальникам, але повинні бути враховані. Тому перед початком робіт з кожним формуванням відповідними фахівцями підприємств і служб ЦО проводиться інструктаж, на якому вказуються способи дій при виконанні поставленого завдання і правила безпеки, дотримання яких обов'язково.

Ліквідація наслідків аварій і катастроф на об'єктах господарювання.

Для організації робіт з ліквідації наслідків аварій і катастроф на об'єкті господарювання створюється постійно діюча надзвичайна оперативна група під керівництвом головного інже-нера. У надзвичайних умовах вона працює під загальною коор-динацією районної (міської) надзвичайної комісії.

На надзвичайну оперативну групу покладені такі завдання:

- приведення в готовність підлеглих сил і засобів і керівництво їх діями в надзвичайних умовах;
- оцінка обстановки, масштабів події, наслідків аварій;
- вживання екстрених заходів по захисту населення від наслідків аварій;
- вживання екстрених заходів по захисту населення від наслідків аварій на закріпленій території.

Дії надзвичайної оперативної групи по керівництву РІНР організуються відповідно до плану ЦО ОГ на мирний час.

Ліквідація наслідків аварії проводиться в чотири етапи:

1-й етап. Вживання екстрених заходів:

- а) оповіщення і збір НОГ;
- б) попередня оцінка обстановки;

в) вживання екстрених заходів по захисту робітників, службовців, населення;

г) надання допомоги потерпілим;

д) локалізація аварії та організація розвідки;

е) організація комендантської служби і підтримка громадського.

порядку в районі аварії.

2-й етап. Оперативне планування:

а) розвідка;

б) уточнення обстановки;

в) прогнозування обстановки;

г) розрахунок необхідних сил і засобів;

д) оцінка масштабів збитку;

е) прийняття рішення;

ж) планування робіт з ліквідації наслідків аварії (катастрофи). 3-й етап.

РІНР. Рятувальні роботи:

а) розшук потерпілих;

б) витягування потерпілих з під завалів, з палаючих будинків;

в) евакуація (винесення, вивезення, виведення) людей із зони аварії

(зони зараження).

г) надання першої медичної й інших видів допомоги постраждалим.

Інші невідкладні роботи:

а) локалізація аварії;

б) гасіння пожеж;

г) зміцнення конструкції споруд, які загрожують обвалом, їх

розбирання;

д) відновлення енергетичних чи комунальних мереж, ліній зв'язку, споруд в інтересах рятувальних робіт;

е) проведення санітарної обробки людей, дегазації, дезактивації, дезінфекції техніки, споруд, території.

4-й етап. Ліквідація наслідків.

Заходи щодо створення умов для забезпечення життєдіяльності населення в районі аварії (катастрофи), відновлення функціонування ОГ:

а) короткострокове відновлення для забезпечення експлуатації об'єкта на короткий термін;

б) тимчасове відновлення для забезпечення роботи об'єкта на більш тривалий термін шляхом часткового відновлення пошкоджених споруд;

в) капітальне відновлення для забезпечення постійної експлуатації об'єкта з реконструкцією (модернізацією) споруд.

Висновок: таким чином у розділі було розглянуто та проаналізовано ряд потенційних небезпек які можуть виникнути при роботі в сфері дизайну. В ході аналізу потенційних небезпек було знайдено шляхи запобігання виявлених загроз. У розділі «заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці» було проведено розрахунок штучного освітлення приміщення.

У розділі «заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях» було розглянуто виробничу аварію її наслідки та порядок проведення заходів з ліквідації виробничої аварії.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі була освоєна методика побудови демонстраційного стенду з акустично-оптичним перетворенням сигналу, його структурної, та принципальної схеми а також розрахунок деяких блоків.

Написана програма генератора для мікроконтролера плати Arduino nano, розроблена електронна схема перемикача режимів та підібрано підсилювач сигналів для передачі коливань на мембрану. Також експериментальним шляхом проведено підбір матеріалу для мембрани.

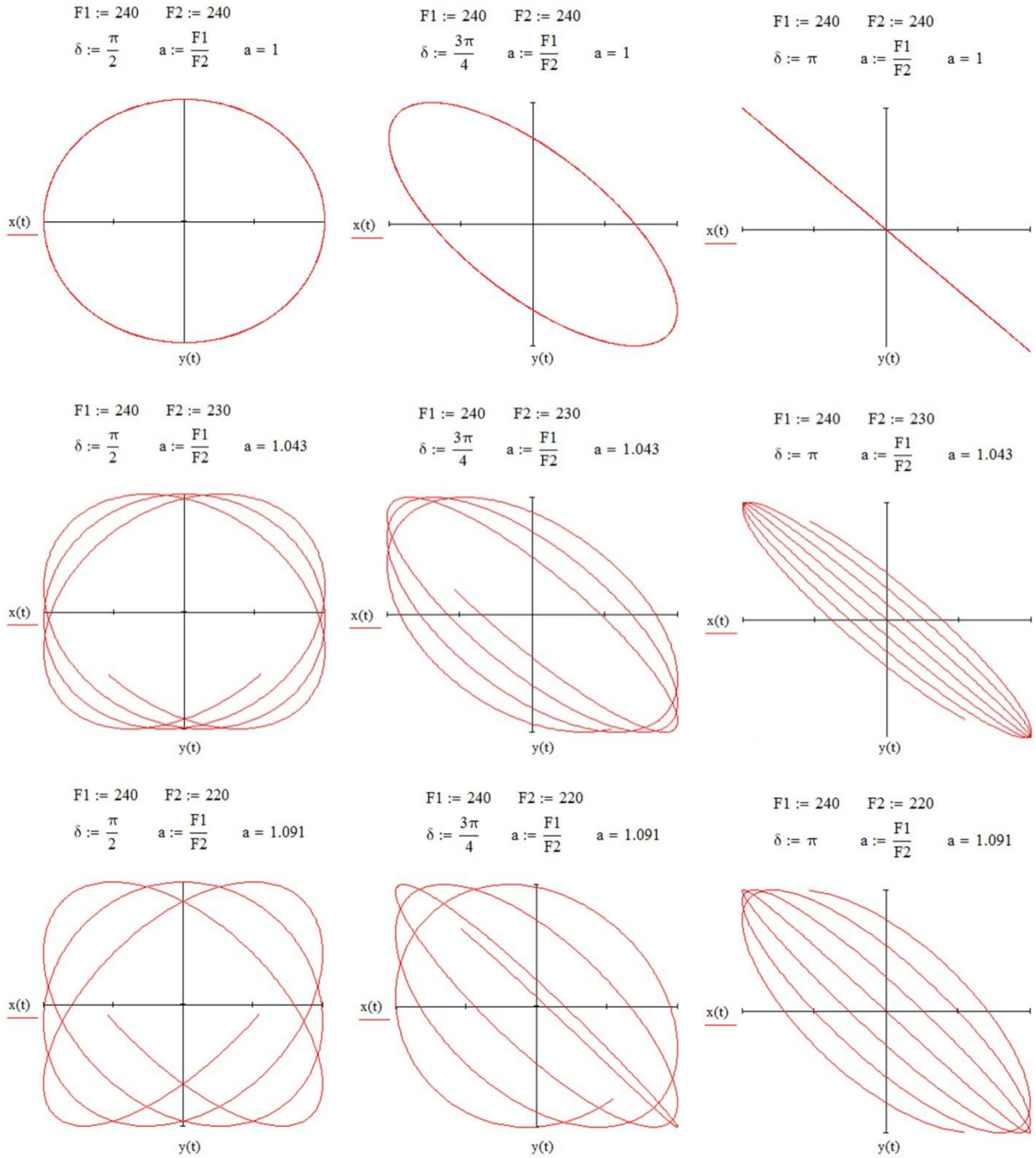
Було проведено дослідження режимів роботи стенду з різною кількістю та співвідношенням частот, сигнали отримані методом акустично-оптичного перетворення були проаналізовані та порівняні з розрахунковими графіками фігур Лісажу.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Линде Д.П. Справочник по радиоэлектронным устройствам [Текст] / Д.П. Линде; под ред. Д.П. Линде. – М.: Энергия, 1978.
2. Справочник по физике [Текст] / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф. – М.: Наука, 1981.
3. Прохоров А.М. Лиссажу фигуры Физическая энциклопедия [Текст] / А.М. Прохоров. – М.: "Советская энциклопедия", 1988. – Т.2. – С. 597-598.
4. Скучик Е.М. Основы акустики [Текст] / Е.М. Скучик, С.В. Егерев. – М. Т.1. – 1958.
5. Додавання коливань [Електронний ресурс] – Режим доступа: <http://gutpfusik.blogspot.com/2013/11/blog-post.html> .
6. Фигуры Хладни и квантовый хаос [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/406637/> .
7. Vibrational Modes of a Circular Membrane [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/MembraneCircle/Circle.html> .
8. Воронкин А.С. Введение в физику звука [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.slideshare.net/AlexVoronkin/4-10848137> .
9. Waveform Generator using Arduino [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-waveform-generator> .

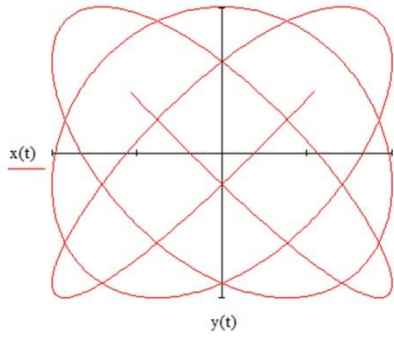
## ДОДАТОК А

### Розрахункові графіки зі значенням $a > 1$



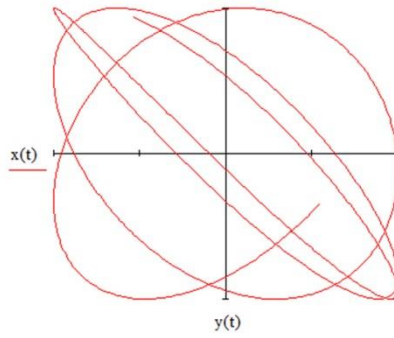
$$F1 := 240 \quad F2 := 210$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.143$$



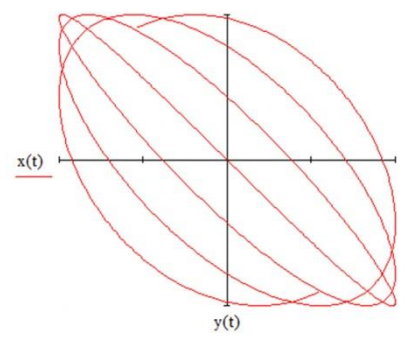
$$F1 := 240 \quad F2 := 210$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.143$$



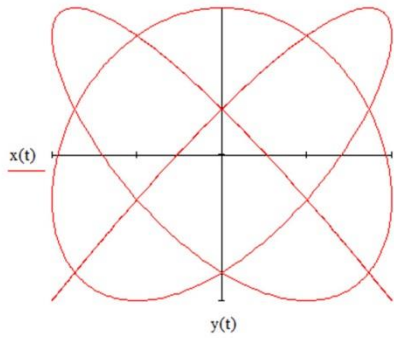
$$F1 := 240 \quad F2 := 210$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.143$$



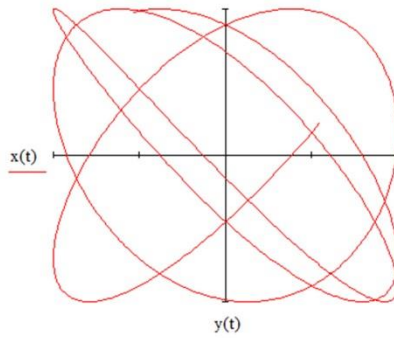
$$F1 := 240 \quad F2 := 200$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.2$$



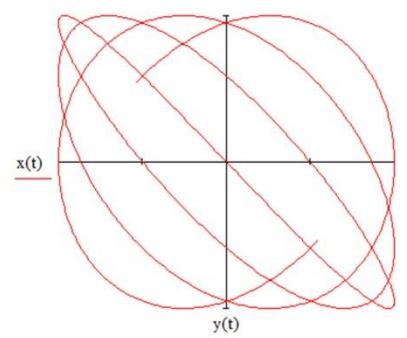
$$F1 := 240 \quad F2 := 200$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.2$$



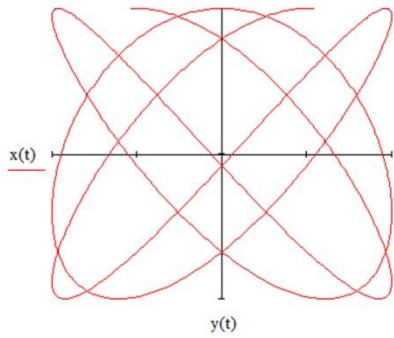
$$F1 := 240 \quad F2 := 200$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.2$$



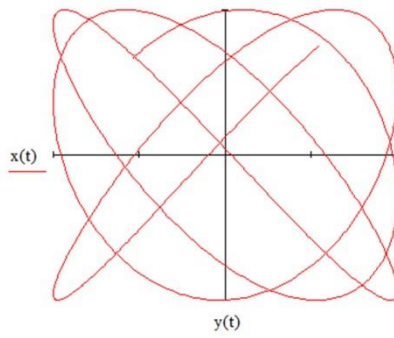
$$F1 := 240 \quad F2 := 190$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.263$$



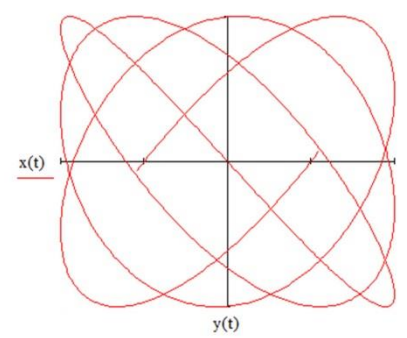
$$F1 := 240 \quad F2 := 190$$

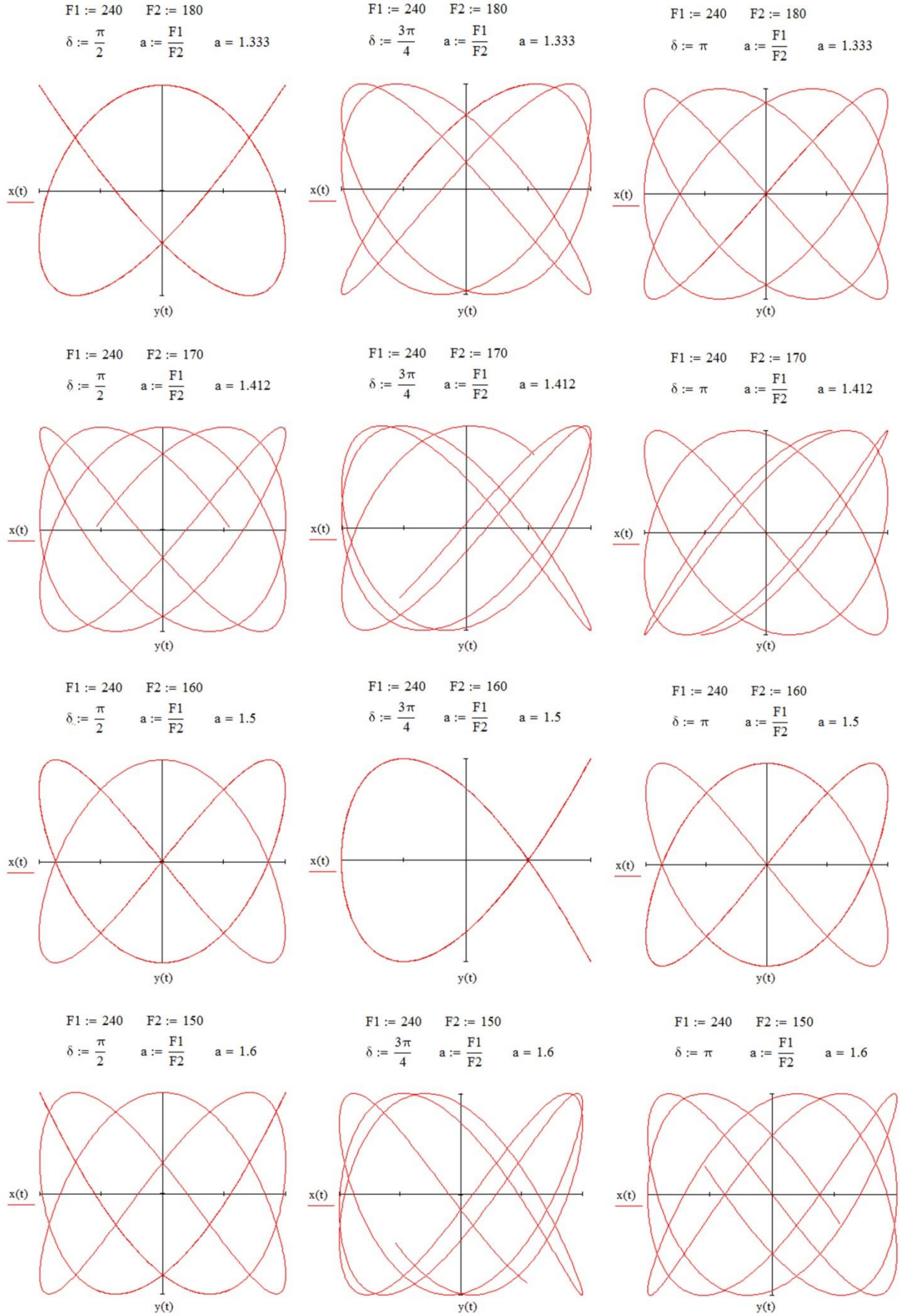
$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.263$$



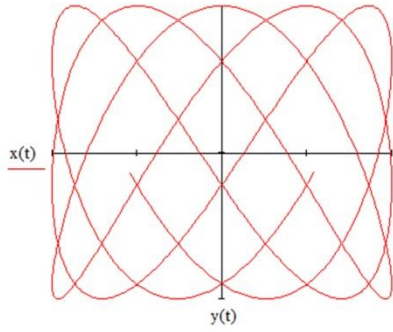
$$F1 := 240 \quad F2 := 190$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 1.263$$

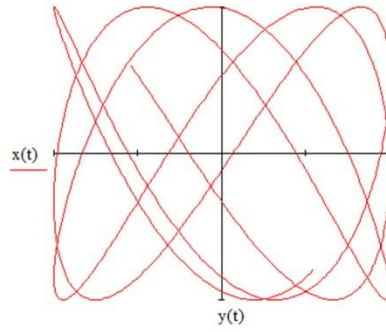




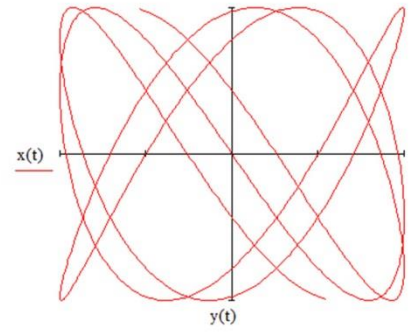
F1 := 240 F2 := 140  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.714



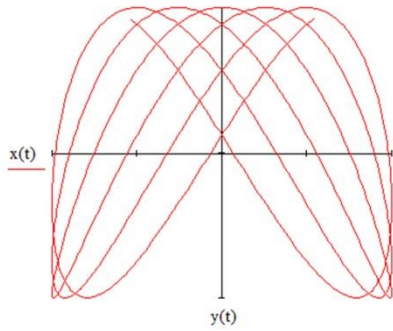
F1 := 240 F2 := 140  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.714



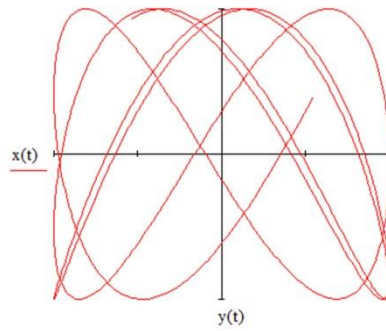
F1 := 240 F2 := 140  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.714



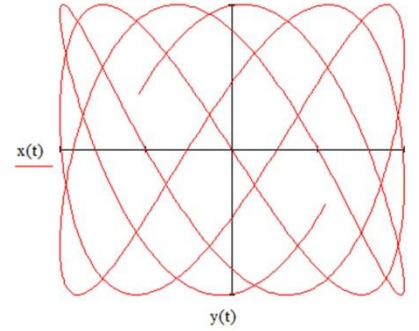
F1 := 240 F2 := 130  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.846



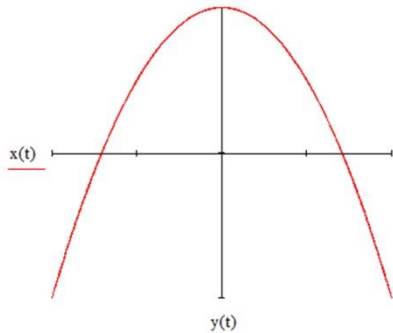
F1 := 240 F2 := 130  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.846



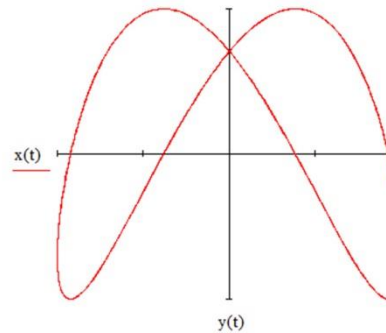
F1 := 240 F2 := 130  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 1.846



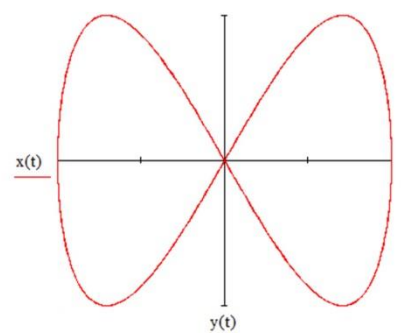
F1 := 240 F2 := 120  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2



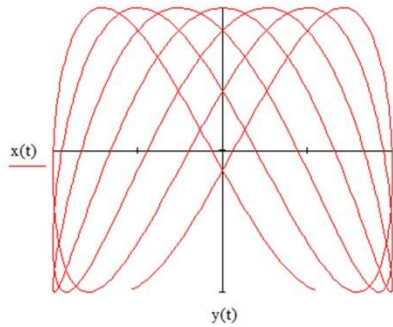
F1 := 240 F2 := 120  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2



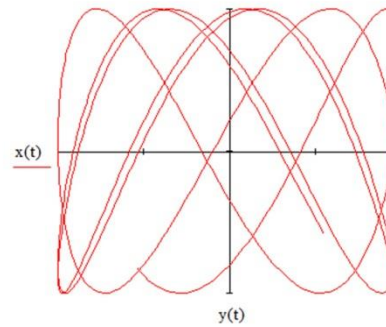
F1 := 240 F2 := 120  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2



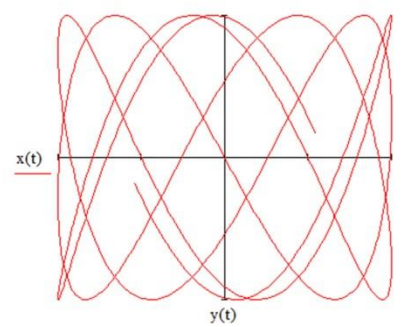
F1 := 240 F2 := 110  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2.182



F1 := 240 F2 := 110  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2.182

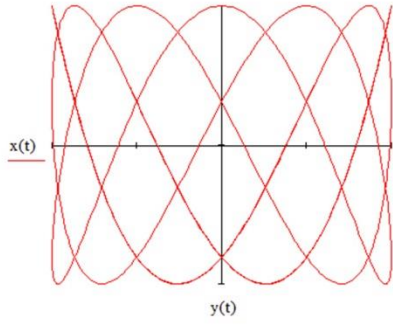


F1 := 240 F2 := 110  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 2.182



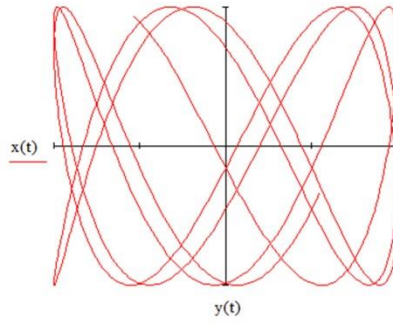
$$F1 := 240 \quad F2 := 100$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.4$$



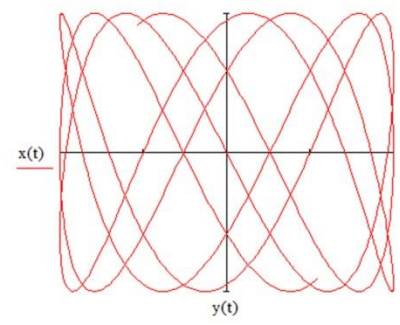
$$F1 := 240 \quad F2 := 100$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.4$$



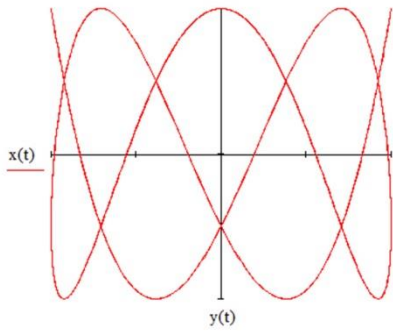
$$F1 := 240 \quad F2 := 100$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.4$$



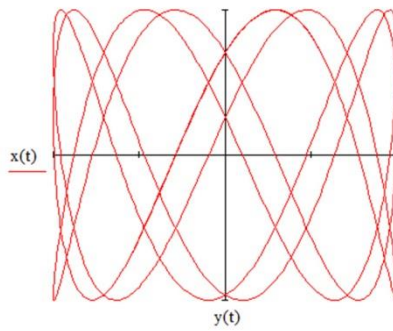
$$F1 := 240 \quad F2 := 90$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.667$$



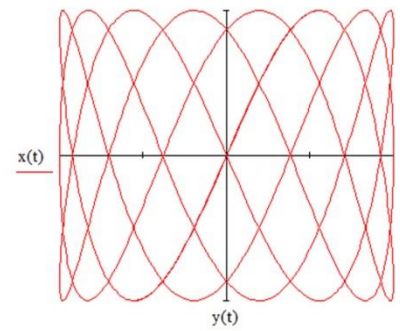
$$F1 := 240 \quad F2 := 90$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.667$$



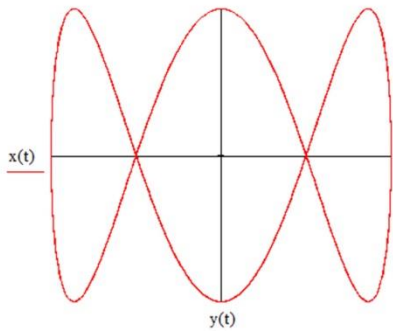
$$F1 := 240 \quad F2 := 90$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 2.667$$



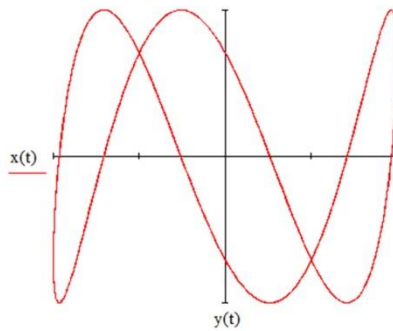
$$F1 := 240 \quad F2 := 80$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3$$



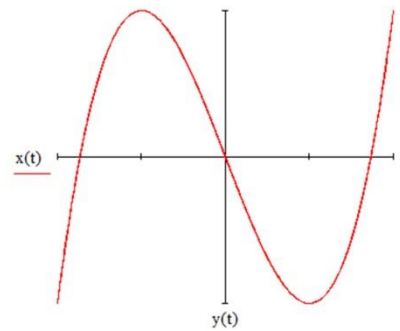
$$F1 := 240 \quad F2 := 80$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3$$



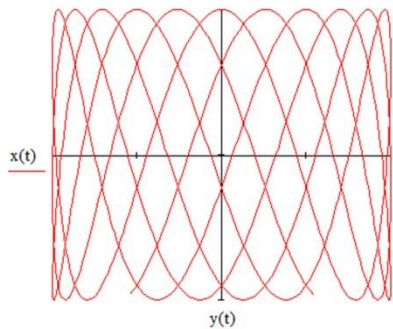
$$F1 := 240 \quad F2 := 80$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3$$



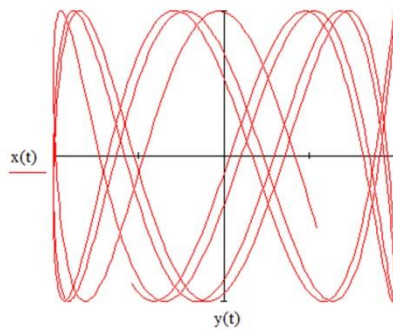
$$F1 := 240 \quad F2 := 70$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3.429$$



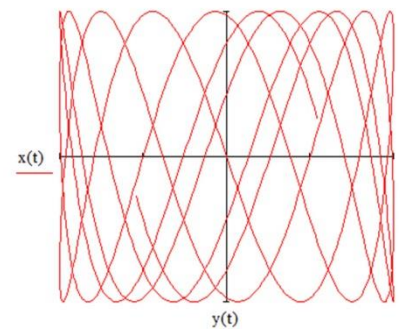
$$F1 := 240 \quad F2 := 70$$

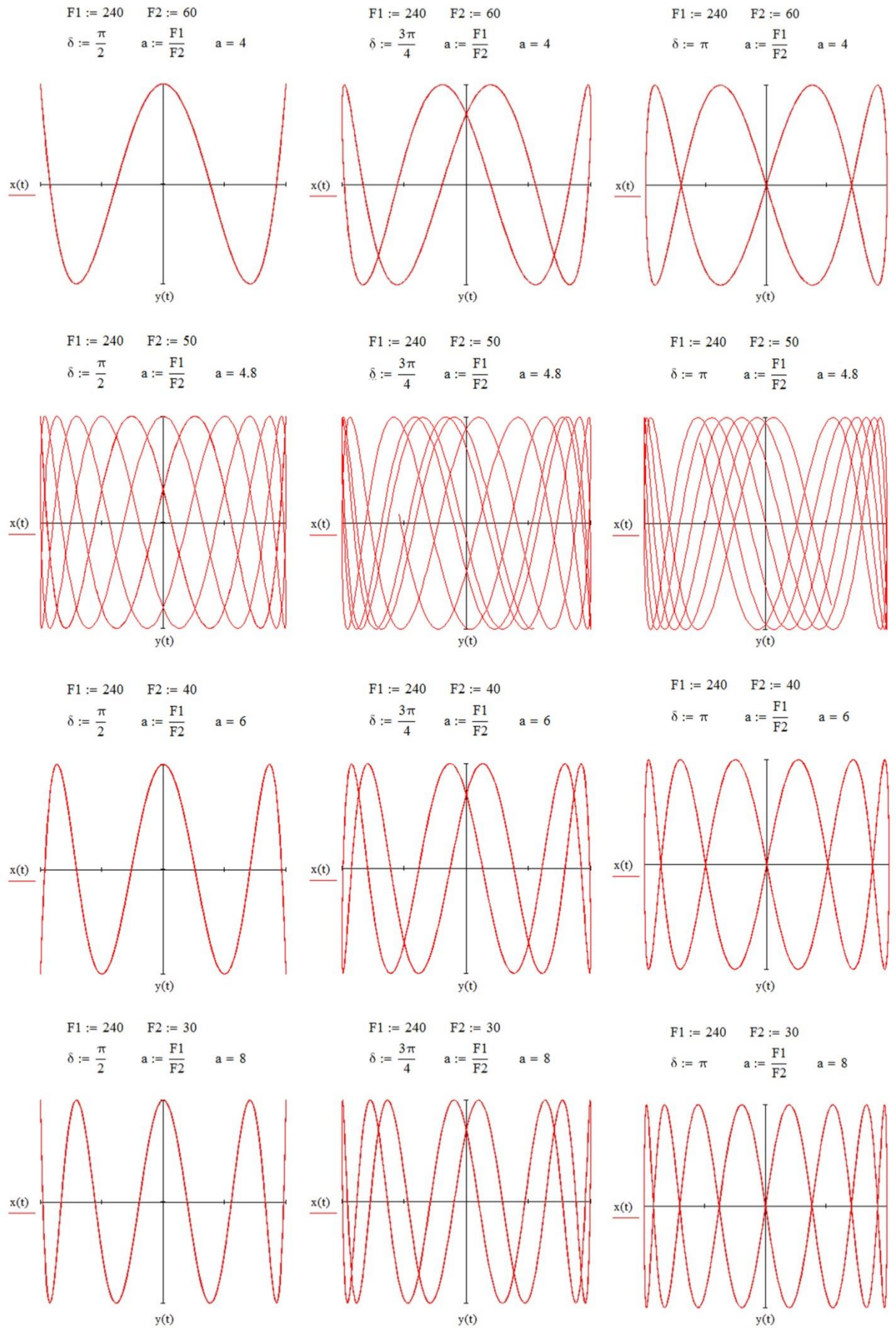
$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3.429$$



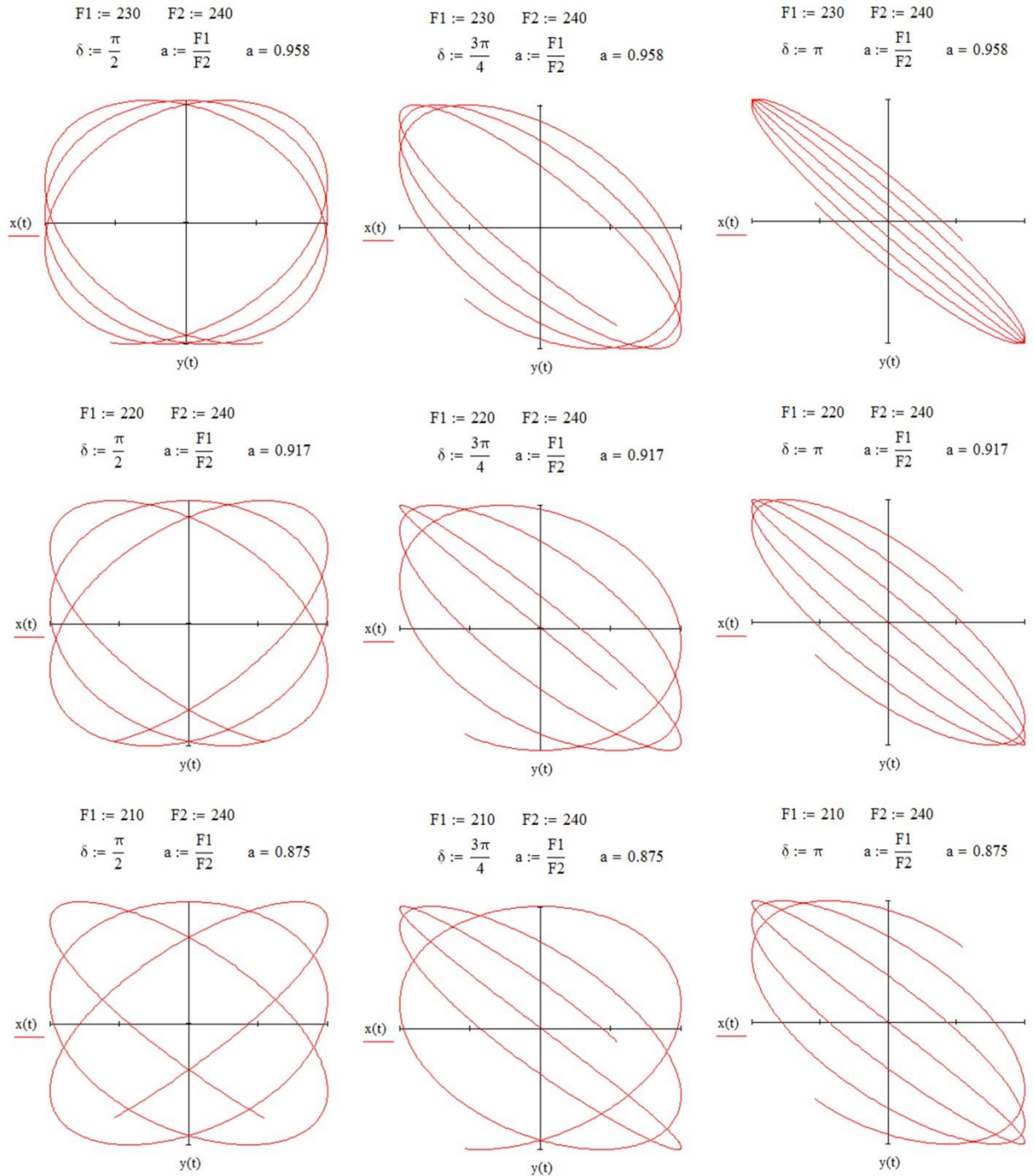
$$F1 := 240 \quad F2 := 70$$

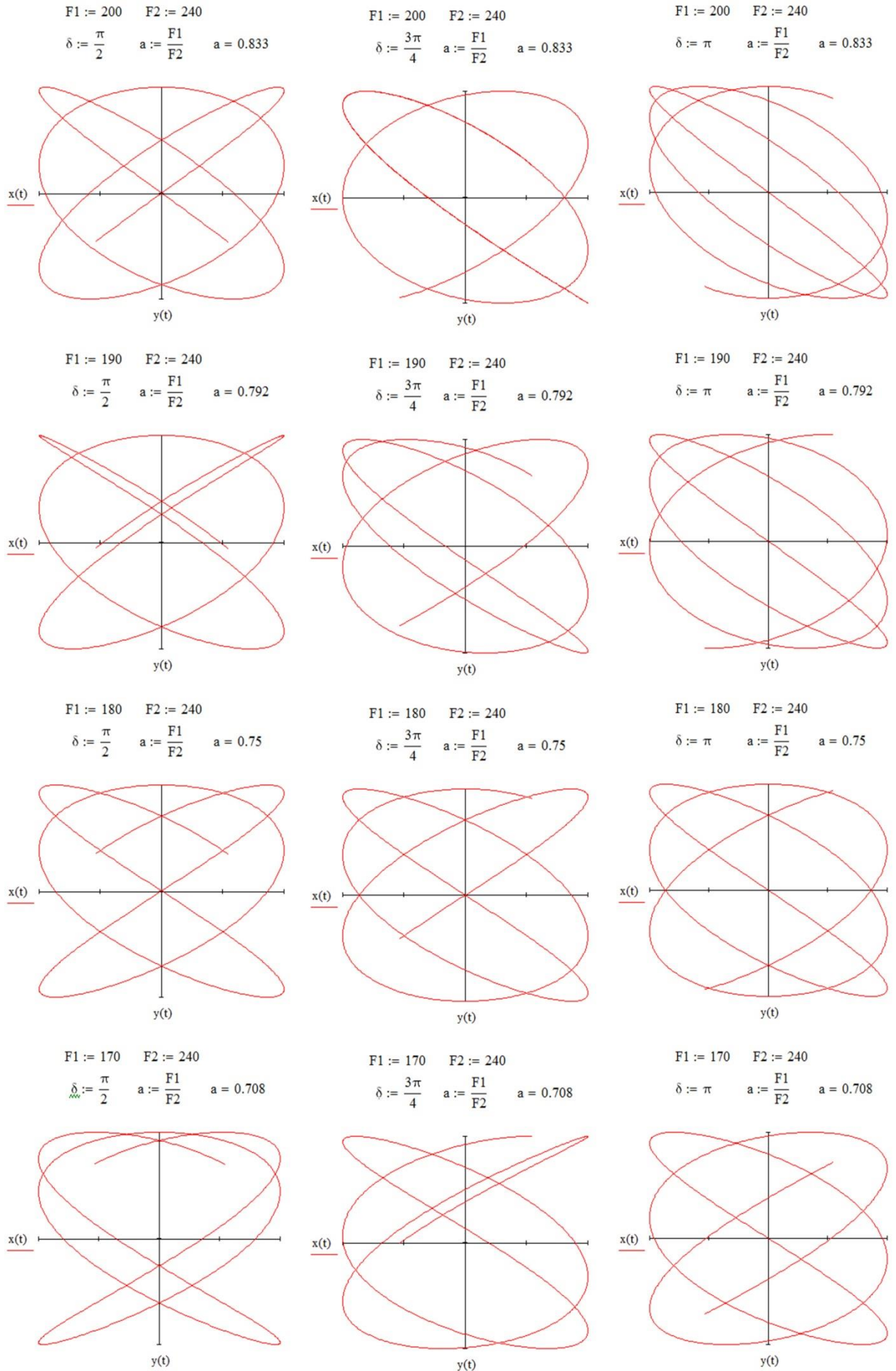
$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 3.429$$





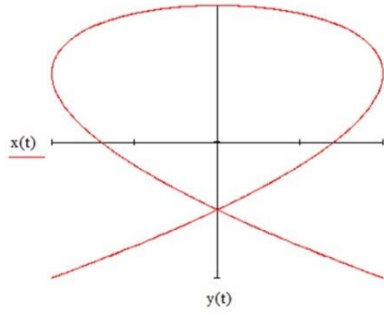
## ДОДАТОК Б

Розрахункові графіки зі значенням  $a < 1$ 



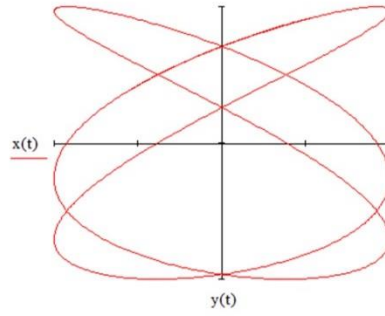
$$F1 := 160 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.667$$



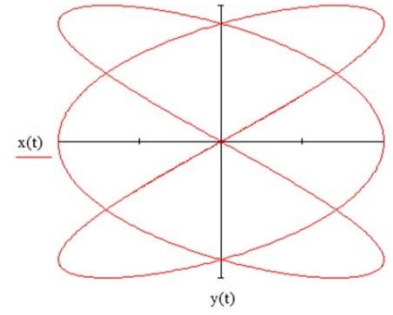
$$F1 := 160 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.667$$



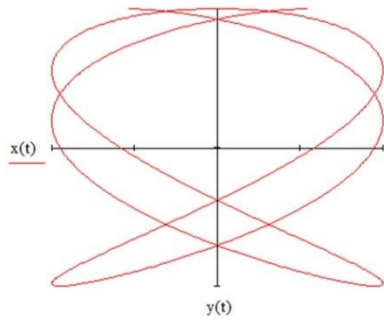
$$F1 := 160 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.667$$



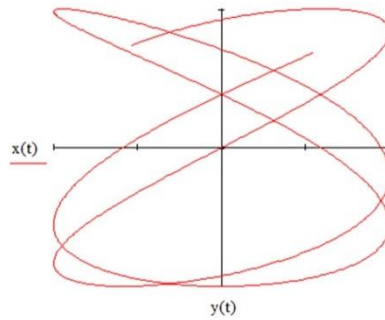
$$F1 := 150 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.625$$



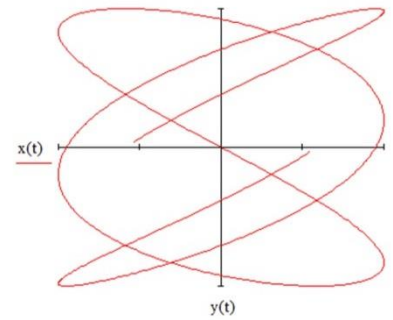
$$F1 := 150 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.625$$



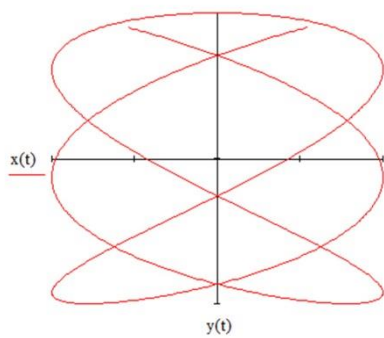
$$F1 := 150 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.625$$



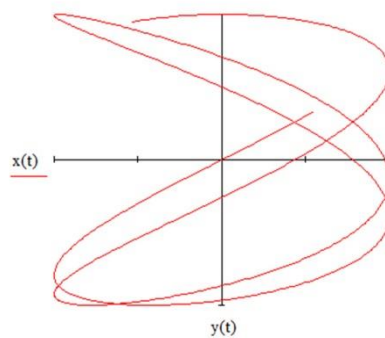
$$F1 := 140 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.583$$



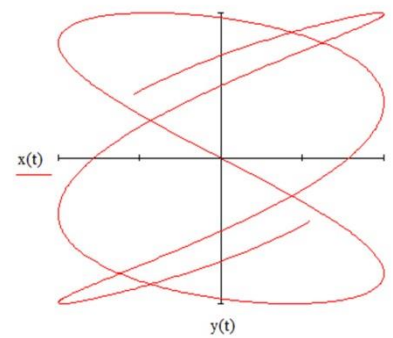
$$F1 := 140 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.583$$



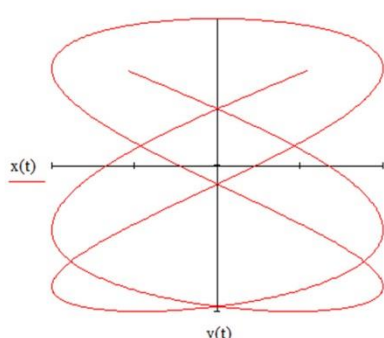
$$F1 := 140 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.583$$



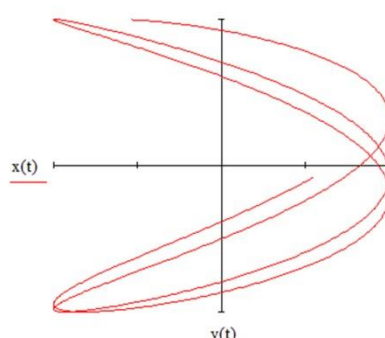
$$F1 := 130 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.542$$



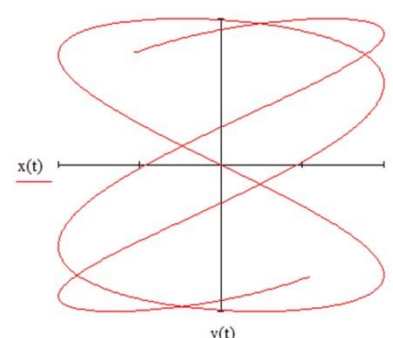
$$F1 := 130 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.542$$

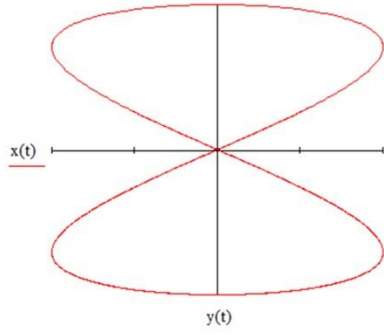


$$F1 := 130 \quad F2 := 240$$

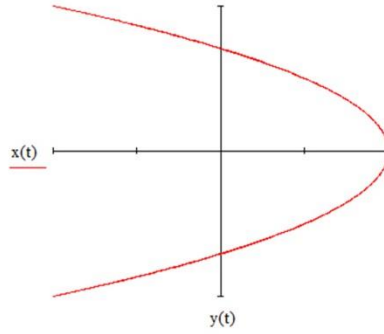
$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.542$$



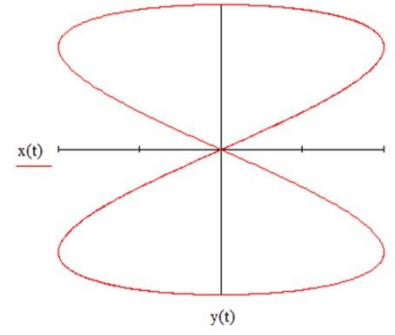
F1 := 120 F2 := 240  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.5



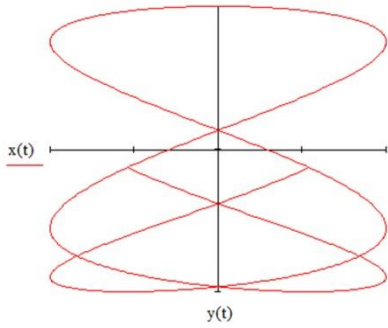
F1 := 120 F2 := 240  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.5



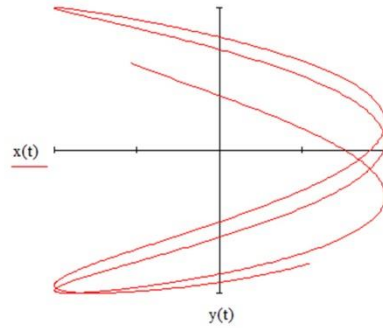
F1 := 120 F2 := 240  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.5



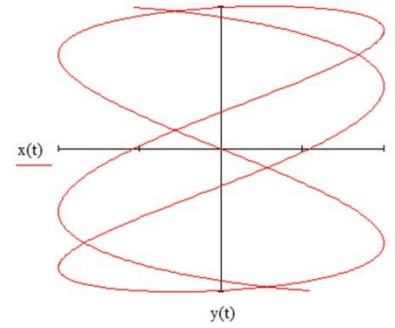
F1 := 110 F2 := 240  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.458



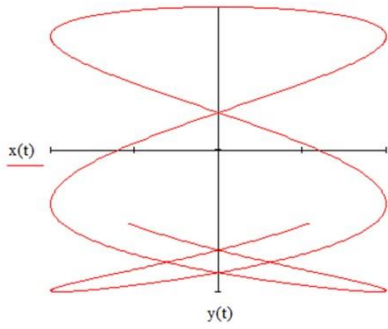
F1 := 110 F2 := 240  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.458



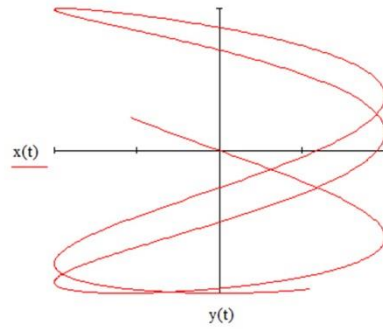
F1 := 110 F2 := 240  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.458



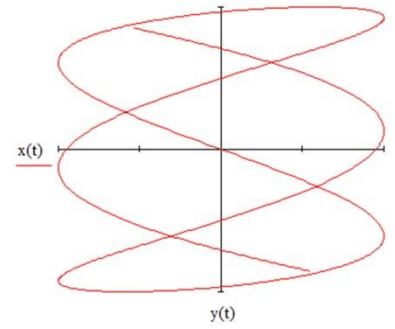
F1 := 100 F2 := 240  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.417



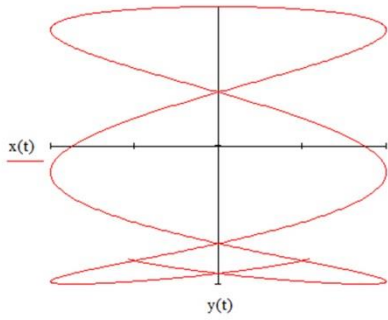
F1 := 100 F2 := 240  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.417



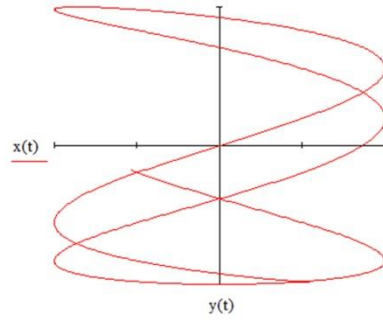
F1 := 100 F2 := 240  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.417



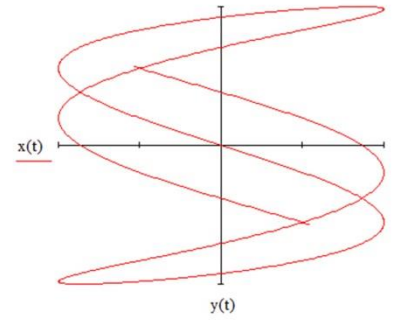
F1 := 90 F2 := 240  
 $\delta := \frac{\pi}{2}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.375

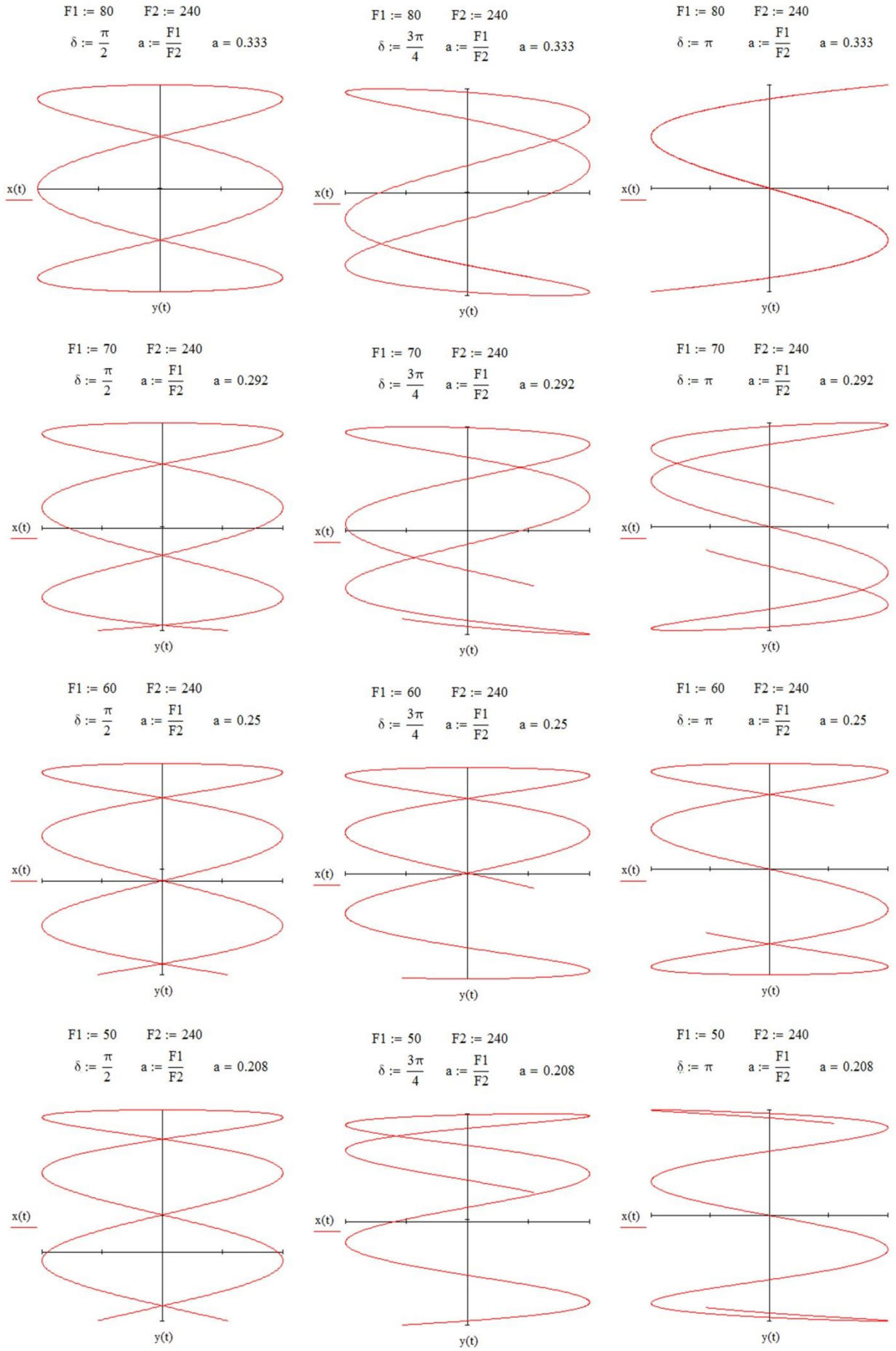


F1 := 90 F2 := 240  
 $\delta := \frac{3\pi}{4}$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.375



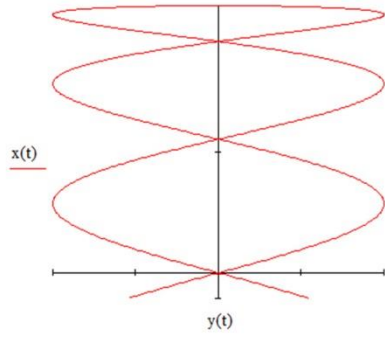
F1 := 90 F2 := 240  
 $\delta := \pi$  a :=  $\frac{F1}{F2}$  a = 0.375





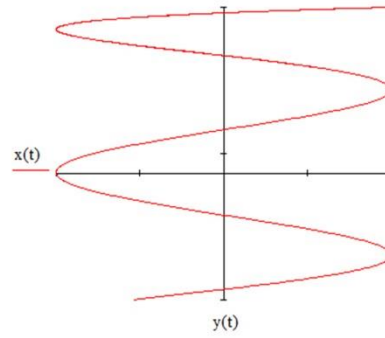
$$F1 := 40 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.167$$



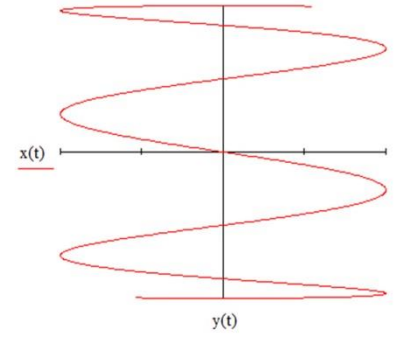
$$F1 := 40 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.167$$



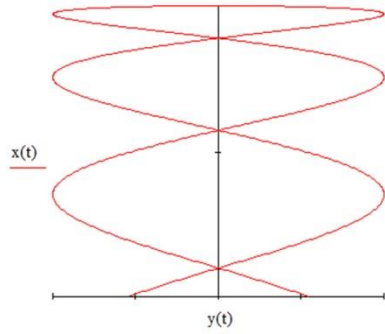
$$F1 := 40 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.167$$



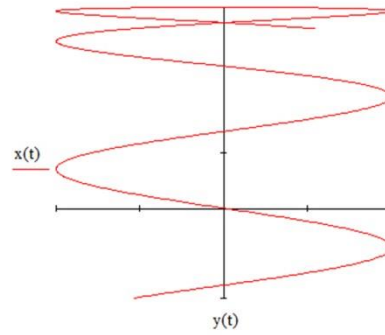
$$F1 := 30 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{\pi}{2} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.125$$



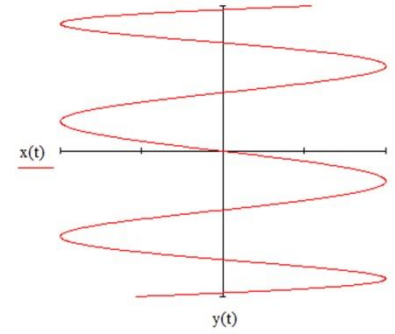
$$F1 := 30 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \frac{3\pi}{4} \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.125$$



$$F1 := 30 \quad F2 := 240$$

$$\delta := \pi \quad a := \frac{F1}{F2} \quad a = 0.125$$



## ДОДАТОК В

### Програми для мікроконтролера

```

#include <PWM.h> // Бібліотека PWM для керування частотою сигналу ШІМ
#include <LiquidCrystal.h> // Бібліотека для роботи з символьним LCD
дисплеєм 16·2
const int rs = 14, en = 15, d4 = 4, d5 = 3, d6 = 6, d7 = 7; // номери контактів для
підключення РК-дисплея
LiquidCrystal lcd (rs, en, d4, d5, d6, d7);
int Encoder_OutputA = 11;
int Encoder_OutputB = 12;
int Encoder_Switch = 10;
int Previous_Output;
int multiplier = 1;
double angle = 0;
double increment = 0.2;
const int signal_pin = 9;
const int Sine_pin = 5;
const int POT_pin = A2;
int32_t frequency; // частота, яка повинна бути встановлена
int32_t lower_level_freq = 1; // Найменша можливе значення частоти складає 1
Гц
int32_t upper_level_freq = 100000; // Максимально можлива частота становить
100 кГц
void setup ()
{
  lcd.begin (16, 2); // Ініціалізація 16 * 2 ЖК-дисплея
  lcd.print ( "Signal Generator"); // Рядок повідомлення 1
  lcd.setCursor (0, 1);

```

```

lcd.print ( "- CircuitDigest"); // Рядок повідомлення 2
delay (2000);
lcd.clear ();
lcd.print ( "Freq: 00000Hz");
lcd.setCursor (0, 1);
lcd.print ( "Inc. by: 1");
Serial.begin (9600); // Послідовний порт для налагодження
InitTimersSafe (); // Ініціалізація таймерів без таймера 0
// настройка режимів виходів
pinMode (Encoder_OuputA, INPUT);
pinMode (Encoder_OuputB, INPUT);
pinMode (Encoder_Switch, INPUT);
Previous_Output = digitalRead (Encoder_OuputA); // Читаємо початкове
значення виходу енкодера А
attachInterrupt (0, generate_sine, CHANGE);
}
void loop ()
{
if (digitalRead (Encoder_OuputA)! = Previous_Output)
{
if (digitalRead (Encoder_OuputB)! = Previous_Output)
{
frequency = frequency + multiplier;
// Serial.println (frequency);
pwmWriteHR (signal_pin, 32768); // Робочий цикл 50% за умовою, для 16-
біт  $65536/2 = 32768$ 
SetPinFrequencySafe (signal_pin, frequency);
lcd.setCursor (0, 0);
lcd.print ( "Freq: Hz");
lcd.setCursor (5, 0);

```

```

    lcd.print (frequency);
}
else
{
    frequency = frequency - multiplier;
    // Serial.println (frequency);
    pwmWriteHR (signal_pin, 32768); // Робочий цикл 50% за зумовою, для
16-біт  $65536/2 = 32768$ 
    SetPinFrequencySafe (signal_pin, frequency);
    lcd.setCursor (0, 0);
    lcd.print ( "Freq: Hz");
    lcd.setCursor (5, 0);
    lcd.print (frequency);
}
}
if (digitalRead (Encoder_Switch) == 0)
{
    multiplier = multiplier * 10;
    if (multiplier > 1000)
        multiplier = 1;
    // Serial.println (multiplier);
    lcd.setCursor (0, 1);
    lcd.print ( "Cng. by:");
    lcd.setCursor (8, 1);
    lcd.print (multiplier);
    delay (500);
    while (digitalRead (Encoder_Switch) == 0);
}
Previous_Output = digitalRead (Encoder_OuputA);
}

```

```
void generate_sine ()
{
  double sineValue = sin (angle);
  sineValue * = 255;
  int plot = map (sineValue, -255, +255, 0, 255);
  Serial.println (plot);
  analogWrite (Sine_pin, plot);
  angle + = increment;
  if (angle > 180)
    angle = 0;
}
```