

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

До захисту допущено:

В.о. зав.кафедрою

 Євгеній НЕЛІН

« 14 » червня 2021 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки»

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: Графічний аналізатор аудіоспектра

Виконав:

студент III курсу, групи РІ-п81

Ліпський Олег Геннадійович

Прізвище, ім'я, по батькові

Керівник:

ст. викладача Головня Вікторія Мілентіївна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

Рецензент:

доцент, к.т.н. каф.РОС Лащевська Наталія Олександрівна

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім'я, по батькові

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

Студент 

Київ – 2021 року

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

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедрою

 Євгеній НЕЛІН

« 14 » червня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Ліпському Олегу Геннадійовичу

1. Тема проєкту «Графічний аналізатор аудіоспектра» керівник проєкту Головня Вікторія Мілентіївна, ст. викладач, к.т.н., затверджені наказом по університету від « ___ » _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом проєкту 09 червня 2021 року
3. Вихідні дані до проєкту Діапазон напруги живлення 4,5 — 5 В, бездротове з'єднання по мережі Bluetooth, робочий діапазон відносної вологості 0 — 95%, діапазон робочих температур -50 — 45 °С.
4. Зміст пояснювальної записки Вступ, Аналіз технічного завдання, Розробка пристрою, Розробка програмного забезпечення, Результати конструкторської розробки, Розрахунок що підтверджує працездатність

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо Схема електрична структурна, схема електрична принципова, кресленик, блок схема програмного забезпечення.

6. Дата видачі завдання 12 квітня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	06.05 – 08.05	
2	Розробка та аналіз технічного завдання	09.05 – 14.05	
3	Обґрунтування та вибір схемотехнічного рішення	15.05 – 19.05	
4	Вибір та обґрунтування елементної бази	20.05 – 22.05	
5	Проектування електронного модуля	23.05 – 26.05	
6	Проектування приладу	27.05 – 30.05	
7	Аналіз працездатності приладу	30.05 – 01.06	
8	Оформлення текстової та графічної документації	2.06 – 04.06	

Студент

Олег ЛІПСЬКИЙ

Керівник

Вікторія ГОЛОВНЯ

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 58 сторінок, що містить 30 ілюстрацій, 11 таблиць, 3 креслень, 4 додатків та 31 посилань.

Метою даного дипломного проекту є розробка графічного аналізатора аудіоспектру. Основним призначенням даного приладу є відображення частот спектру, вхідного аудіосигналу та керування відображенням за допомогою додатку для смартфона по Bluetooth каналу зв'язку.

У проекті був проведений огляд аналогів, враховуючі їх переваги та недоліки було обрано тип конструкції та всі елементи. Було синтезовано схеми: структурну, електричну принципову, розроблено друковану плату та корпус.

Ключові слова: Bluetooth, аналізатор, аудіоспектр, музика, світлодіодна матриця, оцифровка сигналу, швидке розкладання Фур'є.

ANNOTATION

The diploma project consists of an explanatory note of 58 pages, containing 30 illustrations, 11 tables, 3 drawings, 4 appendices and 31 references.

The purpose of this diploma project is to develop a graphical analyzer of the audio spectrum. The main purpose of this device is to display spectrum frequencies, audio input and control the display using a smartphone application via Bluetooth.

The project reviewed analogues, taking into account their advantages and disadvantages, the type of construction and all elements were selected. Schemes were synthesized: structural, electrical principle, printed circuit board and case.

Key words: Bluetooth, analyzer, audio spectrum, music, LED matrix, signal digitization, rapid Fourier decomposition.

Ліпський О.Г. РГ-ПФ-2021

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: Графічний аналізатор аудіоспектра**

Київ – 2021 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	5
1.1 Аналіз ринку	5
1.1.1 Графічний аналізатор спектру «Fun Generation RTA-31»	5
1.1.2 Графічний аналізатор спектру «American Audio DB Display МКП»...6	6
1.1.3 Графічний аналізатор спектру «the tracks DBMeter»	8
1.1.4 Графічний аналізатор спектру «Music Spectrum Kit».....9	9
1.1.5 Графічний аналізатор спектру «Nobsound 14x24 Music Spectrum Audio Spectrum Sound».....10	10
1.1.6 Графічний аналізатор спектру «Roeam DIY LED Digital Music Spectrum».....11	11
1.1.7 Графічний аналізатор спектру «Music Audio Spectrum Analyzer Kit».....13	13
1.1.8 Графічний аналізатор спектру «DIY 3D Light Cube Kit».....14	14
1.1.9 Порівняння характеристик.....15	15
1.2 Вимоги до розробки.....17	17
2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ.....20	20
2.1 Розробка структурної схеми.....20	20
2.2 Синтез схеми електричної принципової.....21	21
2.3 Вибір елементної бази.....22	22
2.3.1 Вибір керуючого мікроконтролера.....23	23
2.3.2 Вибір модуля зв'язку.....28	28
2.3.3 Вибір пасивних компонентів.....31	31

					PI-n81.203719.001 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Ліпський О.Г.				Лім.	Лист.	Аркушів
Керівн.	Головня В.М.				1		55
Н. Контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Зав.каф.					Каф. КіВРА, Гр. PI-n81		
					Графічний аналізатор аудіоспектра		

2.3.4	Вибір світлодіодної матриці.....	33
2.3.5	Вибір інших компонентів.....	37
3	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ.....	39
3.1	Вибір мови програмування.....	39
3.2	Основний принцип роботи приладу.....	39
3.3	Налаштування бездротового з'єднання.....	41
3.4	Програма для керування.....	42
4	РЕЗУЛЬТАТИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ РОЗРОБКИ.....	43
4.1	Аналіз з точки зору технолога.....	43
4.1.1	Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.....	43
4.1.2	Вибір матеріалу плати та припою.....	43
4.1.3	Вибір класу точності плати та щільності виробництва.....	43
4.2	Розрахунок елементів для монтажу.....	43
4.2.1	Розрахунок габаритів плати.....	44
4.2.2	Розрахунок параметрів друкованих провідників.....	45
4.2.3	Трасування провідників.....	45
4.3	Проектування пристрою.....	46
5	РОЗРАХУНОК, ЩО ПІДТВЕРДЖУЄ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.....	49
5.1	Розрахунок теплового режиму.....	49
5.2	Розрахунок показників надійності.....	50
5.3	Розрахунок віброміцності.....	51
	ВИСНОВКИ.....	53
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	54
	ДОДАТОК А. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	65
	ДОДАТОК Б. ЛІСТИНГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	70
	ДОДАТОК В. СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНИЙ ВУЗО.....	79
	ДОДАТОК Г. ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ.....	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

МК — Мікроконтролер

РЧ — Радіочастотний

КД — Конструкторська документація

Ліпський О.Г. РІ-п81, 2021

					<i>РІ-п81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Всі люди слухають музику, але мало хто знає, що її можливо побачити. З допомогою спеціального пристрою, графічного аналізатора спектру, це можливо.

Користувачу потрібно підключити цей пристрій до джерела аналогового аудіо сигналу, після чого на пристрої буде відображатися частоти спектру цього сигналу, які на даний момент відтворюються.

Такі прилади загалом являються професійними та не підходять для звичайного користувача. Основною проблемою таких приладів є невеликий функціонал, недоступність та неможливість керування та налаштування.

У даному дипломному проекті увагу буду зосереджено на простоті пристрою, та його функціоналу для звичайних користувачів. Отже метою даного дипломного проекту, є проектування графічного аналізатора аудіо спектру, який буде керуватися з допомогою мобільного додатку для смартфона, та буде мати великий функціонал для користувача. Пристрій буде виділятися серед аналогів на ринку новою можливістю, він є самостійним та економічно вигідним завдяки простій конструкції.

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз ринку

Графічний аналізатор аудіо спектру призначений для виявлення або відображення певних частот аудіо сигналу, шляхом його розкладання за допомогою принципу швидкого розкладання Фур'є.

На даний момент на ринку є багато варіантів, зазвичай вони всі є професійними та потребують деяких знань та навичок і не придатні для масового використання, але деякі є доступними для звичайного користувача, деякі з них розглянуті нижче.

1.1.1 Графічний аналізатор спектру «Fun Generation RTA-31»

Одним із найдорожчих та якісних варіантів, який є доступним на даний момент є пристрій Fun Generation RTA-31, який зображено на рис. 1.1. [1]



Рисунок 1.1 — «Fun Generation RTA-31»

Цей пристрій використовується для аналізу вхідного звукового сигналу в окремих діапазонах частот, які надаються на виходах.

									Арк.
									5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

Особливості:

- Регулювання чутливості і яскравості;
- Або 2 входи XLR на 2 виходи XLR, або 2 входи RCA на 2 виходи RCA;
- Вхідний опір: 32 кОм;
- Вихідний опір: 38 Ом;
- Вхідна чутливість: балансний 1 кГц, In 248 мВ, THD: 0,006%;
- Максимальний вхідний рівень: несиметричний вхід 500 мВ;
- Монтажна глибина: 13 см

Майже всю передню частину присторою займає 31-смуговий дисплей. Відповідна частота (від 20 Гц до 20 кГц) відображається білими літерами під кожним з 31-го зеленого світлодіода. Це означає, що показані частоти можуть бути передані 1:1.

Ліворуч від дисплею знаходиться вимикач живлення. Елементи керування розташовані праворуч від дисплея. Керуючими елементами слугують два потенціометри. Яскравість дисплея можна встановити від слабкої до яскравої за допомогою потенціометра затемнення.

Потенціометр чутливості використовується для налаштування присторою на певний рівень сигналу. Це означає, що якщо на вході лише слабкий рівень, то дисплей буде відображати лише його пікові рівні спектру. Для відображення повного спектру сигналу, потрібно збільшити чутливість на потенціометрі. Основними недоліками цього аналізатора є ціна, стаціонарність та майже повна відсутність його на нашому ринку.

1.1.2 Графічний аналізатор спектру «American Audio DB Display MKII»

Варіант американського виробництва American Audio DB Display MKII, має добре співвідношення ціна-якість, який зображено на рис. 1.2. [2]

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				



Рисунок 1.2 — «American Audio DB Display MKII»

Особливості :

- Показує рівень децибел за допомогою світлодіодних індикаторів;
- Може бути підключений між пультом мікшера і підсилювачем потужності;
- Створює міні-світлове шоу в такт музиці;
- Світлодіоди світяться від зеленого до помаранчевого і до червоного, залежно від рівня музики;
- Регулювання чутливості для обох каналів;
- 2 режими: точка (гасне тільки один світлодіод) і смуга (гасне весь ряд);
- Лінійні входи: лівий і правий через роз'єми RCA;
- Лінійні виходи: лівий і правий через роз'єми RCA;
- Для монтажу в 19-дюймову стійку (1 ЕВ);
- Розміри: 44,5 x 483 x 44,5 мм;
- Вага: 1,25 кг;
- Включає блок живлення 5 В / 500 мА

Суцільнометалевий децибел-дисплей DB Display MKII від American Audio відмінно підходить для контролю гучності звуку. Він також створює світлове шоу у стійці підсилювача. За допомогою нього можливо контролювати рівень дБ своєї акустичної системи, через візуальне відображення.

Перевагами даного пристрою, являються: технічні характеристики, якісна збірка, та надійністю.

									Арк.
									7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

Основними недоліками цього аналізатора: ціна, стаціонарність, складність купівлі на нашому ринку.

1.1.3 Графічний аналізатор спектру «the t.racks DBMeter»

Графічний аналізатор спектру the t.racks DBMeter, являє собою один із найпоширеніших варіантів на світовому ринку, представлений відомим американським виробником, який зображено на рис. 1.3. [3]



Рисунок 1.3 — «the t.racks DBMeter»

Особливості:

- Для монтажу в стійку;
- Вимірює рівень в децибелах сумарного сигналу;
- Забезпечує цікаве освітлення в стійці підсилювача;
- Світлодіодний індикатор змінює колір із зеленого на жовтий;
- Регулювання чутливості для правого і лівого каналу;
- 2 окремих режиму світлодіода: точка і смуга;
- Демо-режим для включення світлодіода без звукового сигналу;
- Включає 12 В постійного струму, 500 мА;
- Входи високого рівня: роз'єми RCA зліва / справа і роз'єми XLR зліва / справа для збалансованої передачі сигналу;
- Виходи високого рівня: роз'єми RCA зліва / справа і роз'єми XLR зліва / справа для передачі збалансованого сигналу;
- Споживання енергії: 10 Вт;

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

- Розміри (Д x Ш x В): 483 x 44,5 x 44,5 мм;
- Вага: 0,85 кг

Світлодіодний дисплей «the tracks DBMeter» від ADJ, дозволяє контролювати гучності. Він підходить для будь-якої стійки підсилювача.

Колір світлодіодного індикатора змінюється з зеленого на жовтий і на червоний. У комплект входить блок живлення 12 В. Має повну сумісність з різними підсилювачами, тому є найпоширенішим в світі, за своє співвідношення ціни та якості, а великий функціонал, дозволяє його використовувати в різних ситуаціях.

1.1.4 Графічний аналізатор спектру «Music Spectrum Kit»

Наступний варіант Music Spectrum Kit від китайського виробника, являється найдешевшим з представлених, який зображено на рис. 1.4 [4]

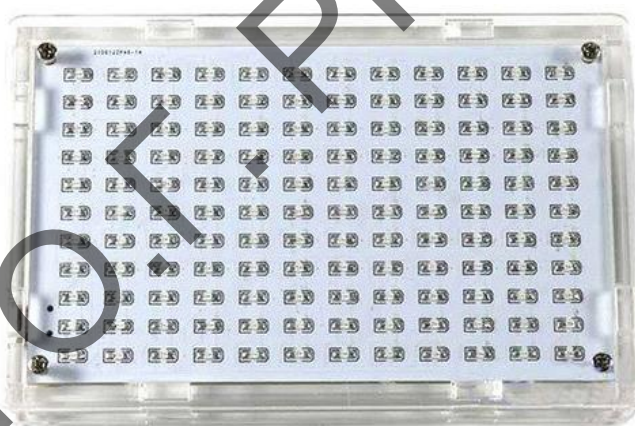


Рисунок 1.4 — «Music Spectrum Kit»

Особливості:

- Робоча напруга: 5 В;
- Аудіо вхід: Роз'єм Jack 3.5;
- Розміри: 108x70x16 мм

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Пристрій керується мікроконтролером, в якому і відбувається обробка звукового сигналу що надходить на АЦП. Спосіб швидкого перетворення Фур'є розкладає сигнал на частоти і потім за допомогою контролера відображає на LED-матриці. Продається пристрій у розібраному вигляді, тому може спричинити труднощі та незручності для звичайного покупця. Основними перевагами є невелика ціна, простота використання, а основним недоліком є якість виробу та труднощі в купівлі. Також суттєвим недоліком є відсутність можливості керування, та зміни кольору, або сигналу.

1.1.5 Графічний аналізатор спектру «Nobsound 14x24 Music Spectrum Audio Spectrum Sound»

Nobsound 14x24 Music Spectrum Audio Spectrum Sound, представляє собою універсальне рішення, для тих хто звук використовувати аналоговий 3,5мм роз'єм для прослуховування, зображено на рис. 1.5. [5]



Рисунок 1.5 — «Nobsound 14x24 Music Spectrum Audio»

Особливості :

- Аудіо спектр Douk AS1424 має 24 смуги частот
- Три види класичних режимів
- Два режиму прийому сигналу
- Постійного струму 5 В
- З високочутливим вбудованим мікрофоном

						<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			10

Аудіо спектр Douk AS1424 має 24 смуги частот, використовує 32-бітний високошвидкісний процесор і професійний модуль (автоматичне регулювання підсилення). Три види класичних режимів: одиночний спектр, спектр + утримання піку, з плаваючою комою, з відключеною пам'яттю; L (низьке підсилення) і H (високе підсилення) є дворівневе посилення.

Два режиму прийому сигналу: мікрофонний (електричний конденсаторний мікрофон) і LIN (лінійний вхід); є два потенціометра, дисплей аналізатора звукового спектра, потенціометри регулювання амплітуди і входу, дисплей спектра, з їх допомогою можна регулювати амплітуду і вхідний сигнал

Всі пристрої з USB-інтерфейсом, що працюють від USB постійного струму 5 В, можуть виступати джерелами живлення: комп'ютери, зарядні пристрої для стільникових телефонів, мобільні пристрої і т.д.

Основними перевагами є великий функціонал, добре співвідношення ціни та якості.

Основним недоліком є недоступність на нашому ринку.

1.1.6 Графічний аналізатор спектру «Roeam DIY LED Digital Music Spectrum»

Roeam DIY LED Digital Music Spectrum один із найдоступніших та якісних варіантів, які є на ринку зображено на рис 1.6. [6]



Рисунок 1.6 — «Roeam DIY LED Digital Music Spectrum»

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

Особливості :

- Колір світла: білий / синій / червоний + зелений + синій (опціонально);
- Джерело живлення: 5 В;
- Вхід аудіосигналу USB: 3,5 мм;
- Розмір спектрального індикатора звукових хвиль: 8 * 20 см;
- Режими відображення: 5 Види;
- Регулювання чутливості: 4 рівня;
- Вага виробу: 177 г / 6,24 унції

Завдяки дизайну світлодіодного музичного спектра великого розміру, він може показати відмінний ефект звукових хвиль, простий дизайн і легке підключення, він підходить для звичайного користувача. Окрема сенсорна клавіша може змінювати різні режими відображення і регулювати чутливість, яка підходить для мобільного телефону, комп'ютера, MP3, MP4 і інших різних музичних плеєрів.

Основними перевагами є функціонал, якість, а основними недоліками є ціна стаціонарність та недоступність на ринку.

1.1.7 Графічний аналізатор спектру «Music Audio Spectrum Analyzer Kit»

Music Audio Spectrum Analyzer Kit, найцікавіший варіант, з огляду на концепт, являє собою недорогий пристрій від китайського виробника, зображено на рис. 1.7. [7]

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				



Рисунок 1.7 — «Music Audio Spectrum Analyzer Kit»

Особливості:

- Інноваційний дизайн;
- Високошвидкісний збір сигналу і точне реагування;
- Чудові візуальні ефекти;
- 8 видів класичних режимів відображення;
- Кнопка керування

Music Audio Spectrum Analyzer Kit поєднує в собі футуристичний дизайн, та функціонал аналізатора спектру. Вхідна напруга аудіо сигналу має бути в межах 5 В, інакше звуковий спектр буде пошкоджений.

Високошвидкісний збір сигналу і точне реагування: він використовує кристал 32М і мікроконтролер 1Т, колірний спектр має високошвидкісний збір сигналу і точне реагування.

Він має велике різноманіття візуальних ефектів: 16 сегментів, рожеві 6-кольорові світлодіоди створюють відмінний візуальний ефект. Декілька видів класичних режимів відображення. Робота з клавішами: коротке натискання клавіші дозволяє перемикатися між вісьмома видами класичних режимів відображення. Основними перевагами є: футуристичний дизайн, різноманітність видів роботи, а недоліком є неможливість керування та недоступність на ринку.

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

1.1.8 Графічний аналізатор спектру «DIY 3D Light Cube Kit»

Останній представлений варіант DIY 3D Light Cube Kit, цікавий з точки зору промислового дизайну, він виконаний у незвичному для графічного аналізатора спектру виді, який зображено на рис 1.8. [8]

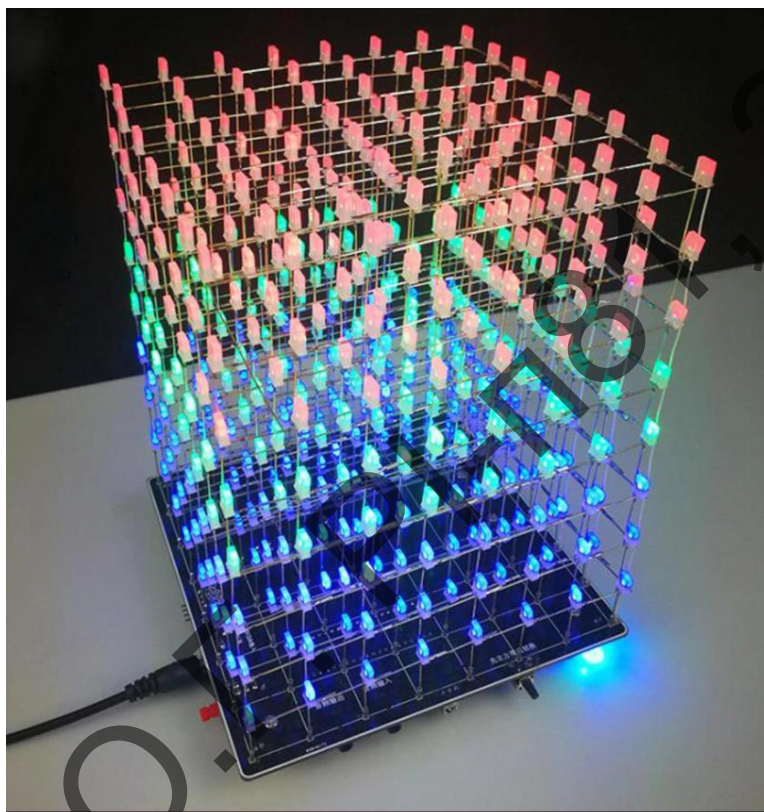


Рисунок 1.8 — «DIY 3D Light Cube Kit»

Особливості :

- Матриця: 8x8x8;
- Вхідна напруга: 5 В;
- Струм: 1-2А;
- Потужність: 5 В ;
- Розмір плати: 150x150 мм

Пристрій складається з підсилювача 3Вт, динаміку 3Вт. Можна вставити карту пам'яті для відтворення музики. Можна вставити диск для відтворення музики. Відображаючими елементами слугують 4-х видів світлодіоди, різного

						Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	

кольору, яскравість яких можливо регулювати. Основними перевагами є дизайн, можливість керування, а основними недоліками є великі габарити, надійність.

1.1.9 Порівняння характеристик

Повні загальні характеристики, описаних вище, аналогів наведені в табл. 1.1 для порівняння. Номери анлогів зазначені для презентації.

Таблиця 1.1 — Порівняльна таблиця характеристик аналогів

Характеристика	«Fun Generation RTA-31»	American Audio DB Display МКП»	«the tracks DBMeter»	«Music Spectrum Kit»	«Nobson and 14x24»	«Roam DIY LED»	«Music Audio Spectrum Analyzer Kit»	«DIY 3D Light Cube Kit»
Тип	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний	Станіонарний
Матеріал корпусу	Метал	Метал	Метал	Пластик	Пластик	Пластик	Пластик	Метал
Робоча напруга,В	10	5	12	5	5	5	5	5
Кількість кольорів	2	3	3	2	2	5	4	3
Діапазон частот,кГц	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20	0,2 - 20
Ціна,грн	2600 - 2927	1200 - 1309	900 - 1039	300-500	3000 - 3800	450 - 550	400 - 600	950 - 1130
Країна-виробник	Америка	Америка	Америка	Китай	Америка	Америка	Китай	Китай
Розмір,мм	46x483x46	44,5x483x44,5	483x44,5x44,5	108x70 x 16	110x75 x 16	110x50 x 15	50x100x40	150x150
Елементи керування	+	+	+	-	-	+	+	-
Гарантія,р	1	1	1	1	1	1	1	1
Номери анлогів	1	2	3	4	5	6	7	8

Проаналізувавши характеристики всіх наведених вище аналогів, можна умовно розділити їх на дві групи: професійні та любительські. До першої категорії, відносяться більш дорогі пристрої, з набагато більшим функціоналом, їх використання доцільне не в домашніх умовах, а в конкретних випадках (лабораторії, студії звукозапису та інші), що й виправдовує їх ціну.

Пристрої професійного характеру мають елементи керування та можливість сумісності з різноманітного роду апаратурою, вироблені вони в основному з металу, та мають якісний елементний склад.

Друга умовна група пристроїв відноситься до любительських, оскільки мають більш просту конструкцію, збірку, та не потребують ніяких спеціальних навичок для експлуатації. Виготовлені вони загалом із пластику, це обґрунтовується його фізичними властивостями, а саме міцність та не підвладність корозії, а також його простота у виробництві та низька вартість. Пристрої, цієї групи мають невеликий функціонал та відсутність елементів керування, в більшості мають низьку якість елементів та самої збірки.

Наведені приклади, відрізняються функціоналом та можливостями для користувача, оскільки вони зроблені під різні випадки, відповідно розмір вихідного інтерфейсу різний та залежить від кількості світлодіодів в ньому, відповідно різна кольорова гамма, яку зможе відображати пристрій.

Всі наведені аналоги потребують підключення до мережі, що унеможливує їх портативність. Усі виробники гарантують до 1 року роботи пристрою.

1.2 Вимоги до розробки

Даний прилад, фактично являє собою повноцінний програмно-апаратний комплекс. Загальний принцип його роботи — спектральний аналіз музикального сигналу в заданих частотних діапазонах і формування пропорціональних інтенсивностей сигналу в цих діапазонах, керування світловими каналами виконавчого пристрою.

Пристрій повинен мати постійну напругу живлення до 5 В. Також необхідно розрахувати та забезпечити аналогове підключення до приладу за допомогою роз'єму AUX та бездротове з'єднання по каналу зв'язку Bluetooth на відстань до 10 м.

Кліматичне виконання за ГОСТ 15150-69 УХЛ-3. УХЛ — макрокліматиний район з помірним та холодним кліматом. Для експлуатації в

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				

лабораторіях, капітальних житлових та інших, подібного типу приміщеннях. Захист від механічних пошкоджень M13, котрий відповідає капітальним лабораторним, житловим та іншим подібного типу приміщенням. Ступінь захисту оболонки, по класифікації IP. У даному випадку IP44, перша цифра відповідає за ступінь захисту оболонки від сторонніх предметів, друга – за ступінь захисту від води. Отже в даному випадку IP44 означає захист від сторонніх предметів, що мають діаметр ≥ 1 мм та захист від бризків води, що падають у довільному напрямі.

Необхідно забезпечити період безвідмовної роботи не менше ніж 10000год. Данна вимога буде впливати на підбір елементної бази пристрою.

Конструкція графічного аналізатора з точки зору промислового дизайну, має бути малогабаритною, зручно і зрозумілою для звичайного користувача, який не має спеціальних технічних знань та навичок. Корпус виконати з переробленого пластику.

Граничні значення умов експлуатації:

- Температура навколишнього середовища від 0 °С до 40 °С;
- Відносна вологість від 0 % до 95 %.

Дані умови також впливають на вибір елементної бази пристрою.

Необхідно забезпечити технологічність виробу, безпеку користувача при роботі з пристроєм та за умов несправності пристрою.

Конструкція має бути готовою для транспортування автомобільним, залізничним та авіаційним видом транспорту в пакуванні достатньої міцності. Та придатною для умов зберігання Л1, які відповідають зберіганню в опалюваних і вентильованих складах, сховищах з кондиціонуванням повітря, розташованих у будь-яких макрокліматичних умовах.

Матеріали та компонентна база пристрою мають відповідати вимогам до застосування в РЕА та серійно вироблятися промисловістю.

Проектований пристрій, для повинен відповідати всім вимогами, які були представлені вище, в ході розробки будуть підібрані необхідні елементи, та розраховані всі параметри.

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

В даному розділі був приведений порівняльний аналіз доступних, існуючих аналогій на ринку, всі їх характеристики та порівняння, приведені в таблиці 1.1. Приведений аналіз технічного завдання, та висунуті вимогу до розробки даного графічного аналізатора.

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ

2.1 Розробка структурної схеми

Графічний аналізатор аудіо спектру в першу чергу призначений для розкладання аналогового звукового сигналу на код, та подальшу передачу цього коду на відтворюючий елемент, а саме матрицю світлодіодів або екран.

Першим етапом розробки, є створення структурної схеми пристрою, яка зображена на рис. 2.1.

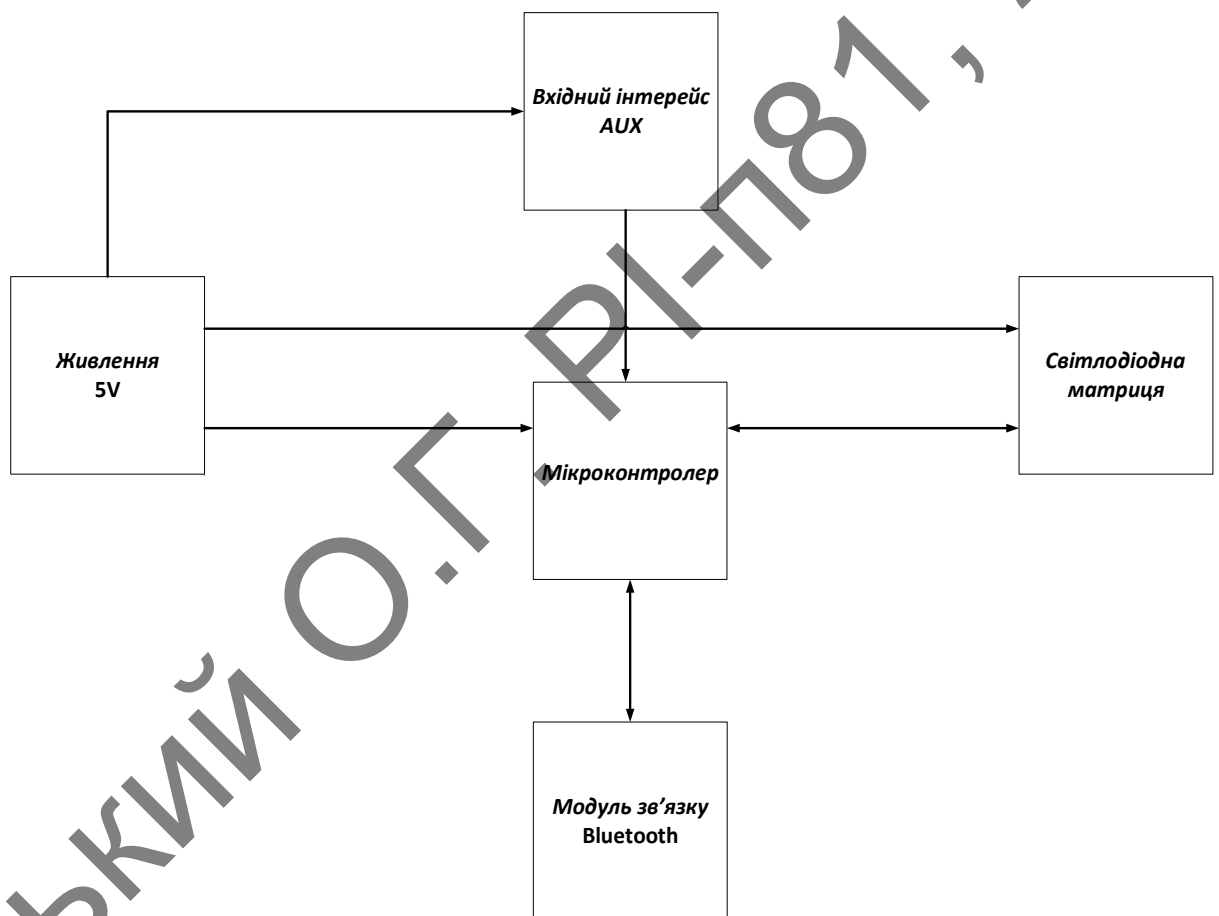


Рисунок 2.1 — Структурна схема

Основним виконуючим елементом є мікроконтролер, на якому і буде базуватися побудова розроблюваного графічного аналізатора спектру, його потужності повинно вистачати для виконання програмного, швидкого

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

розкладання Фур'є, без допоміжних засобів, оскільки на цьому принципі і буде працювати аналізатор. Модуль зв'язку повинен забезпечити з'єднання пристрою з гаджетом (телефон, планшет, персональний комп'ютер та ін.), по радіозв'язку Bluetooth, та подачі команд керування на мікроконтролер. Світлодіодна матриця, є кінцевим елементом пристрою, та відображає основну суть його роботи, керування її відбувається через мікроконтролер. Вхідний інтерфейс для подачі аналогового звукового сигналу на мікроконтролер. Пристрій повинен мати постійну напругу живлення номіналом у 5В, для функціонування мікроконтролера, та світлодіодної матриці, джерелом може виступати: мережа з використанням блоку живлення або сторонні прилади, з необхідною напругою.

2.2 Синтез схеми електричної принципової

Синтезована електрична принципова схема пристрою зображена на рис.

2.2

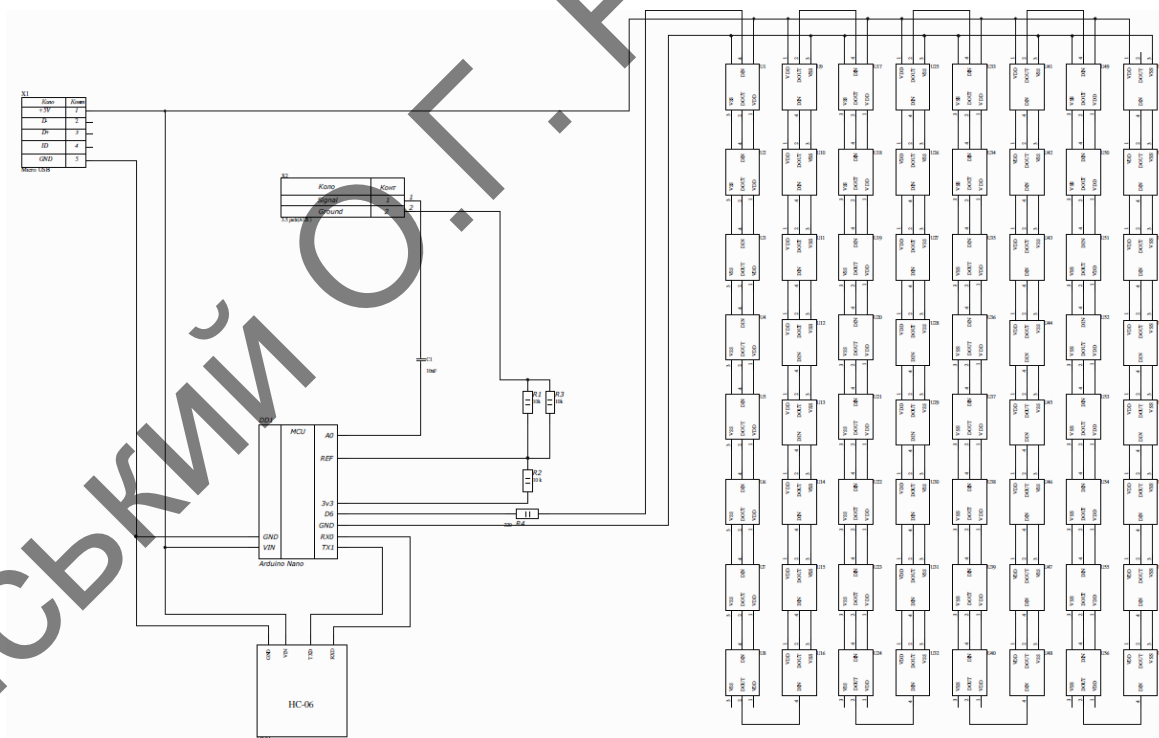


Рисунок 2.2 — Схема електрична принципова

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

21

Відштовхуючись від попереднього розділу, склали електричну принципову схему, яка повністю відповідає вимогам проекту, та здатна виконувати поставлені задачі. Основним і керуючим елементом схеми, являється мікроконтролер, на якому буде ґрунтуватись, робота графічного аналізатора аудіо спектру, шляхом оцифровки аудіо сигналу та подальшої передачі цього коду на відображаючий елемент, за допомогою спеціального коду, який дозволить спростити схему, і не використовувати додаткові мікросхеми на платі. Для керування, та настройки пристрою, його потрібно буде підключити по бездротовому зв'язку, за допомогою Bluetooth модулю.

Пасивні компоненти представлені у вигляді 3-х резисторів R, та одного конденсатора С, вони слугують для підвищення чутливості мікроконтролера по струму.

Вхідний інтерфейс являє собою аналоговий аудіо роз'єм під 3.5 mini jack штекер, за допомогою якого аудіо сигнал буде потрапляти на мікроконтролер.

Живлення реалізовано за допомогою роз'єму мікро USB і потребує живлення в 5V від джерела.

Відображаючим інтерфейсом слугую матриця адресних світлодіодів, на базі чипів SMD 5050, вона має окреме живлення, оскільки через плати не можливо надати достатнє живлення.

2.3 Вибір елементної бази

Вибір елементної бази залежить від декількох важливих чинників, а саме від:

- Елементна база має відповідати заданим електричним параметрам;
- Елементна база має працювати належним чином в заданих кліматичних умовах;
- Елементна база буде впливати на надійність та час безвідмовної роботи приладу;
- Від елементної бази залежить технологічність виготовлення пристрою;

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				

– Елементна база визначає габарити пристрою.

Додатковим критерієм вибору також є вартість та доступність на українському ринку. Розглянемо деякі варіанти нижче. Посилання на всі ресурси будуть наведені в переліку джерел.

2.3.1 Вибір керуючого мікроконтролера

У якості основного елемента керування, мікроконтролер, розглянемо декілька варіантів, які підходять для даного проекту, а саме : STM32[9], Arduino MEGA[10], NodeMCU [11], ESP32 [12], Arduino Nano [13].

STM32 розроблено, щоб запропонувати користувачам MCU, що мають дуже високу продуктивність, можливості роботи в реальному часі, цифрову обробку сигналів, роботу з низьким енергоспоживанням та низьким навантаженням, захищеність та простоту розробки, але з недоліків завелика вартість, незручну оболонку для програмування.

Мікроконтролеру STM32 зображено на рис. 2.3. [9]

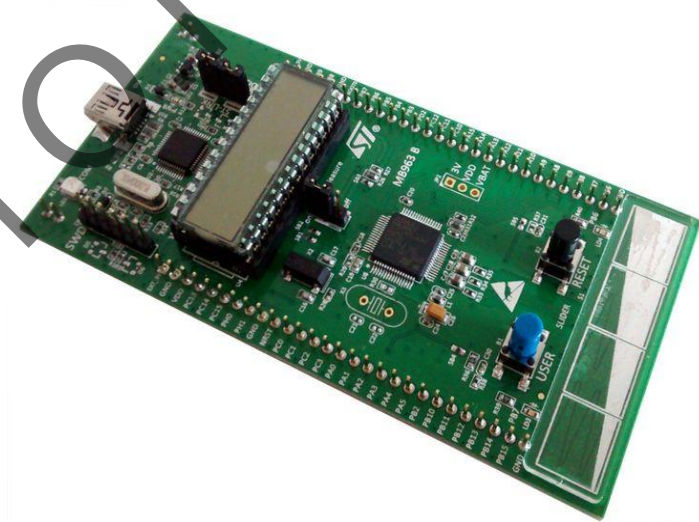


Рисунок 2.3 – STM32

Переваги:

- Велика обчислювальна потужність;
- Надійність;
- Великий вибір серед розробок.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

23

Недоліки:

- Вартість;
- Складність у програмуванні;
- Для підключення до мережі потребує додатковий модуль.

Arduino Mega виконаний на архітектурі процесора ATmega2560. Він включає в себе 54 цифрових входів, 16 аналогових входів, 4 UART, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, ICSP для програмування і кнопка скидання.

Мікроконтролер Arduino Mega зображено на рис. 2.4. [10]



Рисунок 2.4 – Arduino Mega

Переваги:

- Велика обчислювальна потужність;
- Надійність;
- Великий розмір флеш пам'яті.

Недоліки:

- Вартість;
- Розмір;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

NodeMCU - це платформа на основі модуля ESP8266. Плата призначена для зручного управління різними схемами на відстані за допомогою передачі сигналу в локальну мережу або інтернет через Wi-Fi.

Мікроконтролер NodeMCU зображено на рис. 2.5. [11]

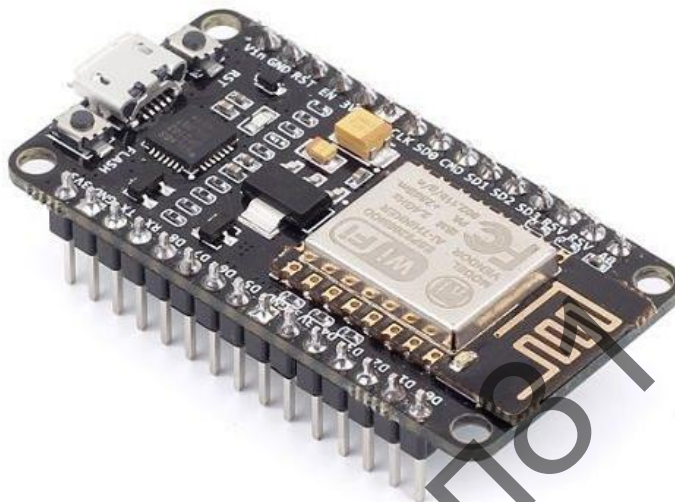


Рисунок 2.5 – NodeMCU

Переваги:

- Малі габарити;
- Наявність Wi-Fi модулю;
- Невелика вартість.

Недоліки:

- Невелика власної пам'яті;
- Необхідні додаткові драйвери;

ESP32 поєднує в собі Wi-Fi модуль та відеокамеру OV2640 має роз'єм під мікро-SD карту пам'яті і додаткової оперативної пам'яттю 4 Мбайт, є платою розробки початкового рівня. Простий в підключенні і використанні, але за своїм функціоналом не дуже підходить для цього проекту

Мікроконтролер ESP32 зображено на рис. 2.6. [12]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

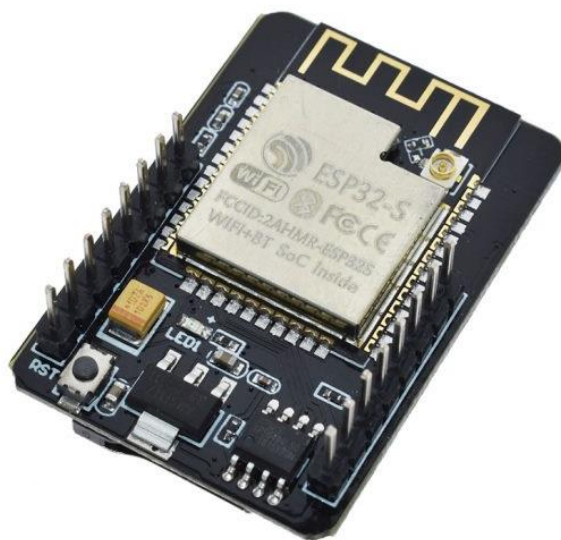


Рисунок 2.6 – ESP32

Переваги:

- Малі габарити;
- Наявність Wi-Fi модулю;
- Невелика вартість.

Недоліки:

- Не підходить для даного проекту;
- Необхідні додаткові драйвери;

Arduino Nano спроектована на чипі ATmega328 (Arduino Nano 3.0) або ATmega168 (Arduino Nano 2.x), має компактний розмір, та досить потужну обчислювальну здатність.

Мікроконтролер Arduino Nano зображено на рис. 2.7. [13]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

26

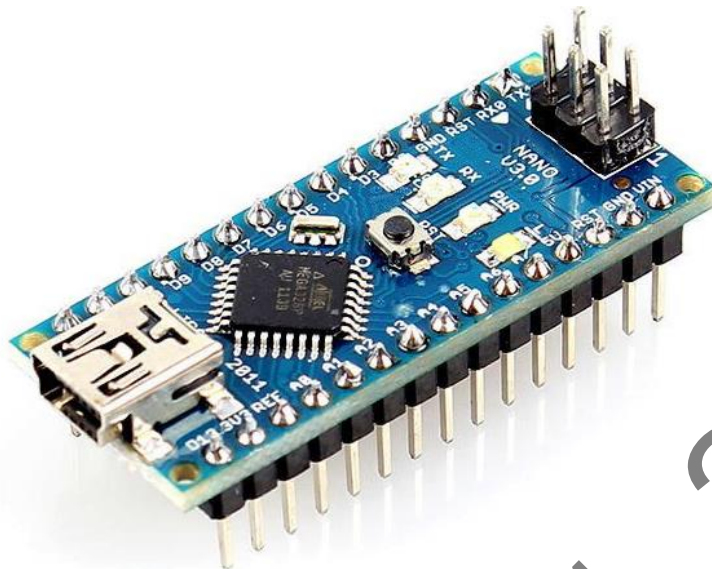


Рисунок 2.7 – Arduino Nano

Переваги:

- Малі габарити;
- Простота у програмуванні;
- Невелика вартість.

Недоліки:

- Необхідність додаткових модулів;

Із всіх вище приведених мікроконтролерів, в даний проект підходить Arduino Nano, завдяки своїй достатній обчислювальній потужності, простоті програмуванні, доступності та невеликої вартості.

Отже Arduino Nano має такі характеристики:

- Мікроконтролер: ATmega328P;
- Робоча напруга: 5В;
- Тип корпусу: TQFP-32;
- Вхідна напруга (рекомендована): 5-12В;
- SRAM: 2 кБ;
- Сила струму на входах / виходах: 40 мА;
- Частота: 16 МГц.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

27

- Сила струму для 3.3В виходу: 50 мА;
- Пам'ять: 32 кБ ;

Оскільки в Arduino Nano відсутній модуль для бездротового з'єднання, потрібне використання окремого модулю.

2.3.2. Вибір модуля зв'язку

Для надання, користувачу можливість налаштувати пристрій, було прийнято рішення додати модуль бездротового зв'язку, Bluetooth, який буде працювати на частоті 2,4 ГГц і буде забезпечувати з'єднання пристрою з смартфоном користувача.

Технологія бездротового зв'язку Bluetooth, поділяється на два різновиди: синхронний та асинхронний. Вони відрізняються між собою кількістю підключених між собою пристроїв. Оскільки в даному проекті буде реалізовано з'єднання двох пристроїв, доцільно використати синхронний метод. [14]

На даний момент на ринку є декілька варіантів : JDY-30 SPP[15], HC-05[16], HC-06 [17].

JDY-30 Bluetooth працює за протоколом 3.0 SPP, який повністю сумісний з операційними системами Windows, Linux, Android, робочий діапазон частот 2,4 ГГц, режим модуляції GFSK, максимальна потужність передачі 8 дБ, максимальна відстань передачі 30 метрів. Модуль JDY-30 зображено на рис.2.8.

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

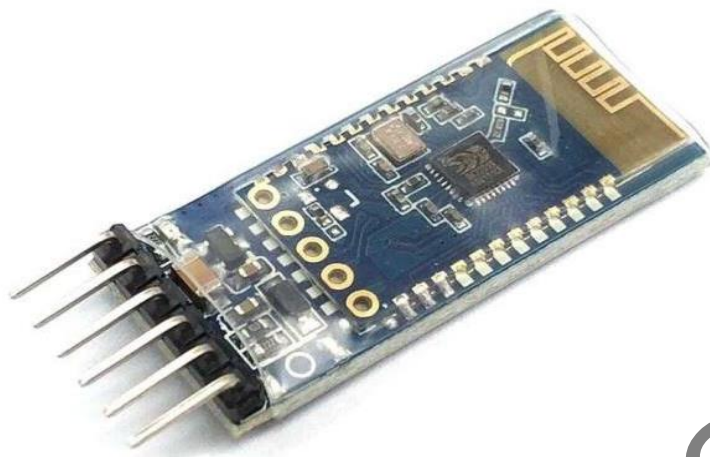


Рисунок 2.8 – JDY-30

Характеристики:

- Версія Bluetooth: V2.1 + EDR;
- Дальність зв'язку: до 30 м;
- Швидкість передачі даних: 1200 - 1382400 біт/с;
- Робоча напруга: 3.6 - 6 В;
- Струм споживання: 45 Ма;
- Розмір: 44 x 16 x 7 мм.

HC-05 модуль, який може працювати в двох режимах, завдяки яким може виступати в двох сторонньому зв'язку, він розроблений на мікросхемі CSR BC417, яка підтримує зв'язок Bluetooth версії 2.0, а це означає швидкість передачі даних до 3 Мбіт / с. Модуль зображено на рис. 2.9.

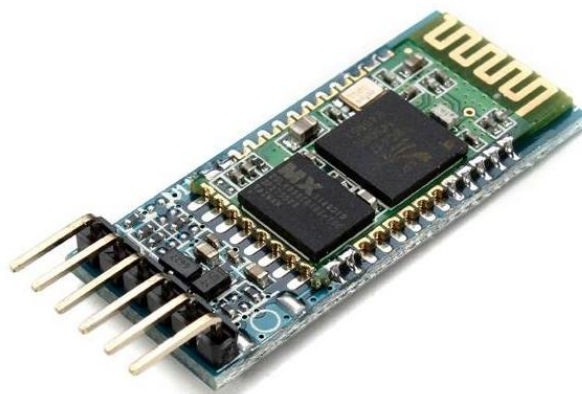


Рисунок 2.9 – HC-05

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

29

Характеристики :

- Протокол зв'язку Bluetooth Specification v2.0 + EDR;
- Частота GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying);
- Профіль Bluetooth serial port;
- Безпека Authentication and encryption;
- Швидкість асинхронна 2.1Mbps (Max) / 160 kbps, синхронна 1Mbps / 1Mbps;
- Живлення + 5V 50mA;
- Розміри 26.9мм x 13 мм x 2,2 мм.
- Робочі температури -20 ~ +75 C;

HC-06 модуль, який є новітньою версією, модуля HC-05. Вхідна напруга 3,6 ~ 6 В, неспарений струм становить близько 30 мА, парне 10 мА. Ефективна відстань 10 метрів. Підтримка встановлення з'єднання Bluetooth за допомогою команд AT встановлює швидкість передачі даних, пароль доступу, задані параметри зберігаються в пам'яті самого модулю. Модуль HC-06 зображено на рис. 2.10.

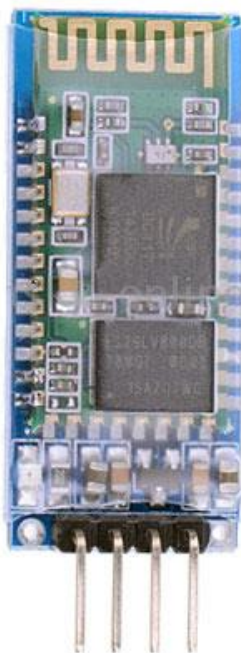


Рисунок 2.10 – HC-06

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

30

Характеристики:

- Стандарт: Bluetooth V2.0+EDR;
- Робоча напруга: 3.3В;
- Регульована швидкість передачі;
- Радіус роботи: до 10м;
- Розмір модуля: 4.3 x 1.6 x 0.7см.

Таблиця 2.1 — Порівняльна таблиця характеристик модулів зв'язку

Назва	JDY-30	HC-05	HC-06
Стандарт	V2.1 + EDR	V2.0	V2.0+EDR
Робоча напруга, В	3.6 - 6	5	5
Радіус роботи, м	30	10	10
Швидкість передачі, біт/с	9600	9600	+10000
Ціна, грн	75	95	155

Усі представлені варіанти не суттєво відрізняються за характеристиками та ціною, але для даного проекту основними характеристиками є: ціна, компактність, та можливість 2-х стороннього з'єднання. Проаналізувавши всі варіанти, було прийнято рішення вибрати модуль HC-06, він повністю відповідає всім вимогам: доступність, ціна, швидкість, та достатній об'єм інформації, яку можна передати, також він повністю сумісний з вибраним мікроконтролером.

2.3.3 Вибір пасивних компонентів

У якості пасивних елементів використовуються малопотужні SMD резистори та конденсатор. Для підвищення технологічності виробу обрані резистори виробника Hi-tano, оскільки це єдиний виробник котрий має резистори усіх необхідних но-міналів. Елементи в корпусах типорозміру 0805. Обрані компоненти мають наступні характеристики:

- Номінальна потужність 0,125 Вт;
- Діапазон номінальних опорів 51 Ом – 3,6 МОм;
- Точність $\pm 5\%$;

Виробник	Номінал	Точність	Рном, W	Уроб, V	Типорозмір
<input type="checkbox"/> Cinetech (1)	<input checked="" type="checkbox"/> 220 Ohm (7)	<input type="checkbox"/> $\pm 0,01\%$ (1)	<input checked="" type="checkbox"/> 0,125 W (20)	<input type="checkbox"/> 150 V (17)	<input type="checkbox"/> 0805 (19)
<input type="checkbox"/> Hitano (5)	<input checked="" type="checkbox"/> 10 kOhm (13)	<input type="checkbox"/> $\pm 0,1\%$ (3)	<input type="checkbox"/> Royal Ohm (0)	<input type="checkbox"/> 50 V (0)	
<input type="checkbox"/> Panasonic (1)	<input type="checkbox"/> 0 Ohm (3)	<input type="checkbox"/> $\pm 0,1\%, \pm 25\text{ppm}$ (1)	<input type="checkbox"/> 0,1 W (0)	<input type="checkbox"/> 100 V (0)	
<input type="checkbox"/> Royal Ohm (1)	<input type="checkbox"/> 0,01 Ohm (1)	<input type="checkbox"/> $\pm 1\%$ F (6)	<input type="checkbox"/> 0,2 W (0)	<input type="checkbox"/> 125 V (0)	
<input type="checkbox"/> Samsung (2)	<input type="checkbox"/> 0.1 Ohm (1)	<input type="checkbox"/> $\pm 5\%$ J (8)	<input type="checkbox"/> 0.25 W (0)	<input type="checkbox"/> 300 V (0)	

Рисунок 2.11 – SMD резистор

SMD резистори обрані з номіналами 10 кОм, в кількості 3 штук та 220 Ом в кількості 1-й штуки. Номінальна потужність яких 0,125 Вт

Конденсатор С має номінальну ємність 10 пФ. Обрано елемент фірми TDK через меншу вартість. Виконаний у SMD корпусі типорозміру 0805 з точністю $\pm 5\%$.

Виробник	Ємність	Номін.напруга	Діелектрик	Точність	Типорозмір
<input type="checkbox"/> TDK (1)	<input checked="" type="checkbox"/> 10 μF (2)	<input type="checkbox"/> 16 V (1)	<input type="checkbox"/> X5R (1)	<input checked="" type="checkbox"/> $\pm 5\%$ J (2)	<input type="checkbox"/> 0805 (2)
<input type="checkbox"/> AVX (0)	<input type="checkbox"/> 6,8 pF (1)	<input type="checkbox"/> 35 V (1)	<input type="checkbox"/> X7R (1)	<input type="checkbox"/> -20/+80% Z (1)	
<input type="checkbox"/> CTS (0)	<input type="checkbox"/> 7,5 pF (1)	<input type="checkbox"/> 2,5 V (0)	<input type="checkbox"/> COG (0)	<input type="checkbox"/> $\pm 10\%$ K (14)	
<input type="checkbox"/> Cinetech (0)	<input type="checkbox"/> 10 pF (6)	<input type="checkbox"/> 4 V (0)	<input type="checkbox"/> NP0 (0)	<input type="checkbox"/> $\pm 20\%$ M (3)	
<input type="checkbox"/> Epcos (0)	<input type="checkbox"/> 11 pF (1)	<input type="checkbox"/> 6.3 V (0)	<input type="checkbox"/> X8R (0)	<input type="checkbox"/> $\pm 0.10\text{pF}$ B (0)	

Рисунок 2.12 — SMD конденсатор

Отже пасивні компоненти поверхневого монтажу обрані фірми Hitano та TDK які повністю відповідають вимогам проекту своїми характеристиками, доступністю на ринку та ціною. Всі приведені елементи, були вибрані за електронного каталогу магазину «Радіомаг» [18].

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

32

2.3.4 Вибір світлодіодної матриці

Один із основних елементів для даного проекту, є відтворюючий компонент, який і буде демонструвати роботу графічного аналізатора аудіо спектру. Для відтворення цього елемента, можна використати екран, але це дуже підвищує вартість виробництва і самого пристрою. Є рішення набагато вигідніше, та цікавіше з технічного плану. Відтворюючим інтерфейсом буде матриця, яка складається з адресних світлодіодів.

На даний момент, на ринку є досить багато різноманітних адресних світлодіодів, але майже всі вони побудовані на основі SMD 5050 чіпа, який є повноцінною мікросхемою. [19]

SMD 5050 - напівпровідникові джерела світла з прямою напругою від 1,8В до 3,4В і силою прямого струму до 25мА на кожен світловий кристал. Сила світла при цьому в залежності від номіналу варіюється від 500мкд до 4500мкд, при розсіюванні світла на 120°. Розсіювання світла світлодіодом зображено на рис. 2.13[19]

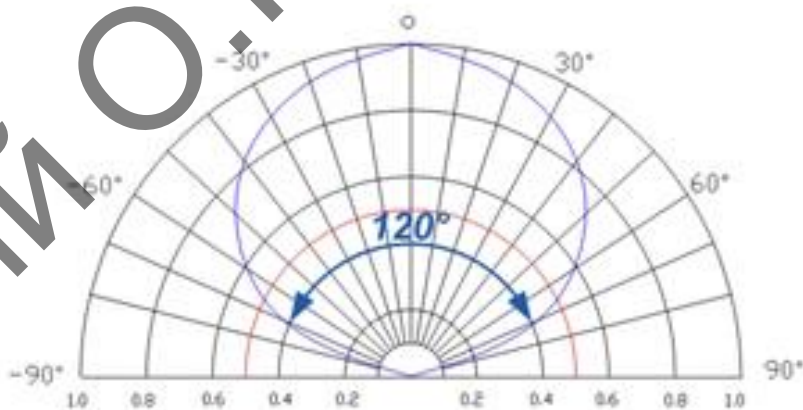


Рисунок 2.13 — Розсіювання світла світлодіодом

Відмінною особливістю світлодіодів SMD 5050 є трьохкристальна конструкція, що забезпечує можливість випромінювання декількох кольорів одним світлодіодом, так звані RGB-світлодіоди.

									Арк.
									33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

Матеріали виготовлення чіпів: Алюміній (Al), Галій (Ga), Індій (In), Нітроген (N) і Фосфор (P). Для отримання різних відтінків використовують легуючі добавки.

Корпус чіпів являється термостійким, лінза прозора, для відведення тепла, яке утворюється в наслідок випромінення світла, використовуються три термопідкладки. 5050 вказує на їх габаритні розміри, які складають 5,0×5,0мм. Монтаж виконується по технології групової пайки.

Підвищена робоча температура середовища становить не більше + 85 ° С, знижена робоча температура - не нижче -40 ° С. Втрати потужності не перевищують 100 мВт на кожному кристалі. Кут випромінення широкий - 120°. Термін експлуатації становить 10 000 год.[19]

Є декілька модифікацій даного чіпу, деякі з них розглянемо нижче.

Таблиця 2.2 — Модифікації SMD 5050

Чіп	Напруга, В	Світлодіодів на чіп	Кількість входів	Кольори
WS2811	12-24V	3	1	RGB
WS2812	3.5-5.3V	3	1	RGB
WS2812B	3.5-5.3V	3	1	RGB
WS2813	3.5-5.3V	1	2 (дублюючий)	Один на вибір
WS2815	9-13.5V	1	2 (дублюючий)	Один на вибір
WS2818	12/24V	3	2 (дублюючий)	RGB

Адресні світлодіоди бувають різні, але принцип роботи у них схожий. Розглянемо найпоширеніший варіант - WS2812b.

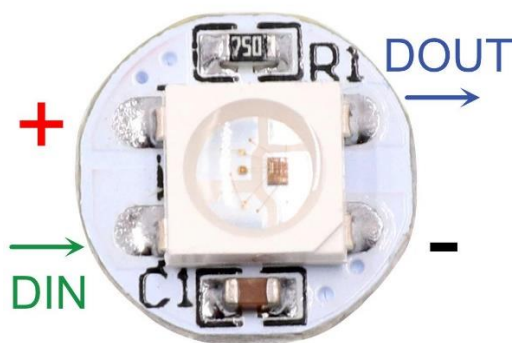


Рисунок 2.14 — WS2812b

Принцип роботи WS2812b наступний: команда приходить на вхід у вигляді послідовності 24 бітів, по 8 на кожен колір. Так як синхроімпульс відсутній, нуль і одиниця відрізняються тривалістю 0,4 мкс - нуль, 0,85 - одиниця. На один біт витрачається 1,25 мкс, на один світлодіод команда передається, відповідно, за 30 мкс. Швидкість передачі, таким чином, становить 800 кбіт / с. У кожному чіпі, залишається по одній покаманді перед завершенням передачі, всі попередні він транлює на вихід, передаючи інформацію по ланцюжку далі. Закінченням пакета даних є пауза на нижньому рівні протягом 50 мкс, після чого кожен чіп формує сигнали на своїх світлодіодних контактах згідно затриманої в ньому інформації. Колір встановлений і буде зберігатися до прийому наступної команди.

Для спрощення виготовлення, та економії технологічних ресурсів, було прийнято рішення використати у ролі відображаючого інтерфейсу, готову матрицю адресних світлодіодів 8x8, яка побудована на адресних світлодіодах типу WS2812B в SMD корпусі 5050, які по своїй структурі являться RGB, тобто мають 3 світлодіода на один чіп, що дозволить відобразити великий спектр кольорів . Матрицю зображено на рис. 2.15

						<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			35



Рисунок 2.15 — Матриця адресних світлодіодів 8x8

Світлодіодна RGB матриця від виробника NeoPixel (RGB SMART-matrix) на основі RGB світлодіодів WS2812B в SMD корпусі 5050. Ця матриця відрізняється від звичайних матриць, тим що кожним світлодіодом в її складі можна керувати окремо від інших. Тобто можна, наприклад увімкнути частину світлодіодів синім світлом, частина - зеленим, частина - білим, деякі взагалі вимкнути і т.д.[20]

Таблиця 2.3 — Характеристики матриці

Параметр	Значення
Робоча напруга, В	5
Максимальний струм, А	3.6
Кількість світлодіодів, шт	64
Вага, г	20
Розмір, мм	65x65
Робоча температура, °С	-20 до +80

Таким чином, ця матриця підходить для даного проекту, вона має можливість керування окремими світлодіодами, має невелику ціну, та є доступною на українському ринку.

2.3.5 Вибір інших компонентів

У якості вхідного інтерфейсу, для направлення звукового аналогового сигналу, обраний Auxiliary port або скорочено AUX - лінійний асинхронно-послідовний аудіовхід. Дослівно Auxiliary перекладається, як «допоміжний» або «додатковий», так як він є самий розповсюджений серед аналогових роз'ємів. На апаратурі позначається «AUX OUT / IN», на старих моделях може бути відомий під псевдонімом «CD IN». Роз'єм AUX мм зображено на рис. 2.16. [21]



Рисунок 2.16 — Роз'єм AUX

Для підключення до передаючого пристрою, було прийнято рішення використовувати самий популярний на даний момент штекер 3.5 мм Mini Jack, який використовується в усіх смартфонах, комп'ютерах і т.д.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

37



Рисунок 2.17 — 3.5 мм Mini Jack

З'єднання AUX і 3,5 мм штекера-jack дозволяє передавати інформацію зі швидкістю 1 біт в одну сторону. Результуючий сигнал відправляється з пристрою після обробки і посилення.

Живлення буде відбуватися шляхом підключення до пристрою зовнішнього джерела живлення в 5 V, інтерфейсом підключення буде слугувати micro USB, так як наданий момент є найпоширенішим, також повністю відповідає вимогам проекту.

Згідно заявленим характеристикам, механічний ресурс роз'єму USB складає близько 10 000 підключень. Отже доцільно використовувати цей роз'єм, з блоком живлення або іншим джерелом в 5 V. [22]

У даному розділі було розроблено схему електричну структурну. Також синтезовано схему електричну принципову та описано принцип роботи пристрою. Описано та обґрунтовано вибір компонентної бази пристрою.

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИСТРОЮ

3.1 Вибір мови програмування

Програмування мікроконтролера Arduino Nano може здійснюватися за допомогою різних оболонок програмування. Для даного проекту, було обрано оболонку Arduino IDE із додатковими бібліотеками для Arduino Nano.

Програмування може бути здійснено на різних мовах програмування, таких як Assembler[23], C++[24], C[25]. Мова програмування Assembler, в основному призначений для програмування мікроконтролерів з невеликим об'ємом пам'яті. Мова програмування C++ є найбільш універсальною, так, як програми написані на C, будуть правильно виконуватися і на C++ і вона є більш розширеною мовою C. Отже було прийняте рішення використовувати мову програмування C++ з можливістю застосовувати рішення, які експортуються із C.

3.2 Основний принцип роботи приладу

Основний принцип роботи приладу буде ґрунтуватися на «Дискретному перетворенню Фур'є»[26], а саме «Швидке перетворення Фур'є»[26], для цього є два варіанти, які можна використати, а саме 2-і готові бібліотеки для Arduino, для оцифровки звуку[27].

Перша являє собою швидке перетворення Фур'є, а друга швидке перетворення Харклі[27], яка краще підходить для оцифровки.

В результаті отримали спектр звуку у вигляді набору чисел «N», чим більше число «N», тим більше вага визначеної частоти в спектрі.

Перетворення в спектрі є лінійним з невеликим кроком по частоті

```
#define LOG_OUT 1 // use the log output function
```

```
#define FHT_N 256 // set to 256 point fht
```

```
#include <FHT.h>
```

```
#define MIC_PIN 0
```

```
double prevVolts = 100.0;
```

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	PI-n81. 203719.001 ПЗ				

```

#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sbi(ADCSRA, ADPS2);
  cbi(ADCSRA, ADPS1);
  sbi(ADCSRA, ADPS0);
  analogReference(EXTERNAL);
}

void loop() {
  for (int i = 0 ; i < FHT_N ; i++) {
    int sample = analogRead(MIC_PIN);
    fht_input[i] = sample; // put real data into bins
  }
  fht_window(); // window the data for better frequency response
  fht_reorder(); // reorder the data before doing the fht
  fht_run(); // process the data in the fht
  fht_mag_log(); // take the output of the fht
  for (int curBin = 0; curBin < FHT_N / 2; ++curBin) {
    Serial.print(fht_log_out[curBin]);
    Serial.print(" ");
  }
  Serial.println("");
  delay(500);
}

```

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

3.3 Налаштування бездротового з'єднання

Елементом бездротового з'єднання в даному проєкті виступає модуль Bluetooth HC-06, для його коректної роботи використовується код.

```
#define UDP_PACKET_MAX_SIZE 1024
#define PARSE_AMOUNT 8 // максимальна кількість значень в масиві,
який хочемо отримати
#define header '$' // стартовий символ
#define divider " // розділовий символ
#define ending ';' // завершальний символ

int16_t intData [PARSE_AMOUNT]; // масив чисельних значень після
парсинга - для WiFi годинник час синхрон М.Б негативним +
// період синхронізації М.Б більше 255 хв - потрібен
тип int16_t
uint32_t prevColor;
boolean recievedFlag;
byte lastMode = 0;
boolean parseStarted;
String pictureLine;
char replyBuffer [8]; // відповідь клієнту - підтвердження отримання
команди: "ack; / r / n / 0"
char incomeBuffer [UDP_PACKET_MAX_SIZE]; // Буфер для прийому
рядки команди з wifi udp сокета. Також буфер використовується для
відправки рядків в смартфон
// Рядок зі списком ефектів може бути довгою,
плюс кирилиця в UTF займає 2 байта - буфер повинен бути великим.
byte ackCounter = 0;
String receiveText = "", s_tmp = "";
```

									Арк.
									41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				

```
byte tmpSaveMode = 0;
void bluetoothRoutine () {
    parsing (); // приймаємо дані
```

Продовження коду в додатку Б.

3.4 Програма для керування

Програмою для керування, буде слугувати мобільний додаток, який є й вільному доступі «GyverMatrixBT» [28]. Воно дасть повне керування приладом за допомогою звичайного смартфона.



Рисунок 3.1 — Зображено налаштування програми

Отже цей мобільний додаток підходить для даного проекту із-за вільного доступу, сумісності та своїх можливостей.

Оскільки проект знаходиться на стадії розробки, в подальшому є можливість створення власного мобільного додатку для керування, тим самим збільшити функціонал пристрою.

4 РЕЗУЛЬТАТИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ РОЗРОБКИ

4.1 Аналіз з точки зору технолога

4.1.1 Обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Оскільки схема, відповідно за завдання, має невелику кількість елементів, то дана плата орієнтовно матиме односторонній монтаж та один шар металізації, тож її доцільно виготовляти хімічним субтрактивним методом.

4.1.2 Вибір матеріалу плати та припою

Матеріалом плати обрано фольгований склотекстоліт FR4 35/35 1,5. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір.

4.1.3 Вибір класу точності плати та щільності виробництва

Так як плата зі мікросхемою з малим кроком між контактами, але з невеликою кількістю елементів, то клас точності – 3.

4.2 Розрахунок елементів для монтажу

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для елементів поверхневого монтажу за формулою:

$$Dk = Dv + 0,3 ,$$

де Dk — розміри контактних майданчиків;

Dv — розміри виводів.

Отримані значення наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Розміри для елементів монтажу

Назва елемента	Dv	Dk
Резистор 0805	Datasheet	0,8x1,6
Конденсатор 0805	Datasheet	1x1,3

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Розрахуємо діаметри отворів для вивідних елементів за формулою:

$$D_o = D_v + 0,2,$$

де D_o — розміри отворів для вивідних елементів.

Розрахуємо розміри контактних майданчиків для вивідних елементів за формулою:

$$D_k = D_o + \frac{2}{3} D_o.$$

Отримані значення наведено в таблиці 3.3

Таблиця 4.2 — Розміри для вивідних елементів

Назва елемента	D_v	D_o	D_k
Arduino nano	Datasheet	1,2	2
HC-06	Datasheet	1,2	2
Micro USB	Datasheet	0,8	1,3
3.5 mini jack	Datasheet	1,5	2,16

4.2.1 Розрахунок габаритів плати

Для визначення площі плати треба розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів кожної сторони, тобто елементів поверхневого монтажу та вивідних елементів окремо. Тож розрахуємо площу всіх елементів.

Таблиця 4.3 — Розміри для вивідних елементів

Назва	К-сть	Площа	Коеф	Площа загалом
Резистор 0803	4	7	1,00	28
DD1	1	69	2,00	138
Конденсатор	1	7	1,00	7
Роз'єм X1	1	50	1,00	50
Роз'єм X2	1	50	1,50	75
DD2	1	69	2,00	138
Кріплення гвинтове	4	100	1,00	400
Сумма				836

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

44

Як видно з розрахунків, мінімальний розмір плати має бути $S \approx 836 \text{ мм}^2$, для даного проекту розміри плати будуть складати $70 \times 70 \text{ мм}^2$, що повністю відповідає умовам даного проекту.

4.2.2 Розрахунок параметрів друкованих провідників

Для розрахунку ширини друкованих провідників необхідно знати який максимальний струм та напруга проходять через силові та сигнальні ланцюги. Аналізуючи отримане завдання отримуємо, що для сигнальних провідників $I_{\max} = 0,3 \text{ А}$, а для силових $I_{\max} = 1 \text{ А}$. Проведемо розрахунки ширини друкованих провідників за допомогою Mathcad.

Таблиця 4.4 — Розміри для вивідних елементів

Тип лінії	Напруга, В	Струм, А	Ширина провідника, мм		Зазор, мм
			У вузькому місці	У широкому місці	
Силова	5	1	0,3	0,55	0,25
Сигнальна	5	0,3	0,3	0,55	0,25

4.2.3 Трасування провідників

Усі наведені вище розрахунки проводились для внесення правил у редакторі Altium PCB для розміщення компонентів на платі та розведення провідників. Заливка землі виконана полігоном з нижньої сторони плати.

В редакторі PCB було проведено трасування. Заливка землі (ланцюг GND) виконаний. Була виконана перевірка на відповідність правилам трасування та усунені помилки. Тому можна переходити до проектування корпусу пристрою.

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4.3 Проектування пристрою

Корпус розроблений в програмному забезпеченні SolidWorks. За основу при розробці корпусу, були взяті до уваги простота та надійність, використання готового виробу, ці дві складові гарантують якість виробу. Сам корпус складається з двох частин з'єднаних між собою 4-а гвинтами М2 і які проходять скрізь отвори на платі и тим самим плата надійно тримається в корпусі. Корпус має два отвори, для роз'ємів підключення. Корпус пристрою зображено на рис 4.2

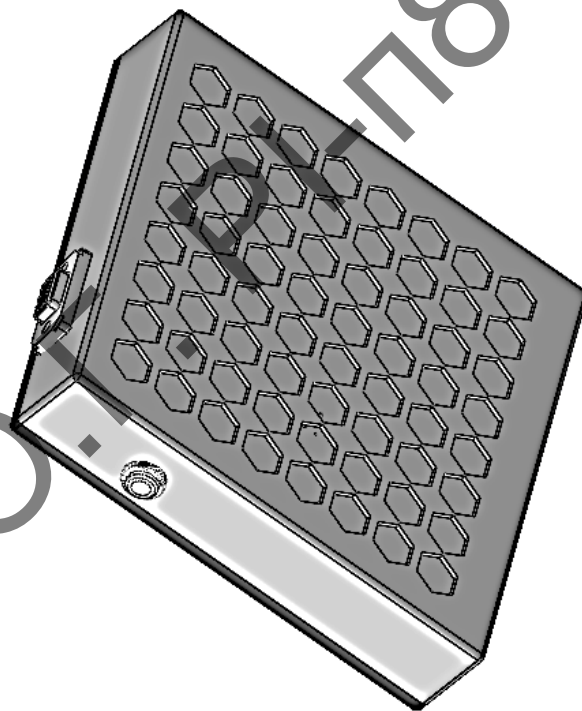


Рисунок 4.2 — Зовнішній вигляд корпусу пристрою

Згідно з технічним завданням матеріалом корпусу має бути пластик. Вибір матеріалу залежить від його доступності на ринку та можливістю їх використання у радіоелектронних пристроях. Перевагу було надано ABS пластику. Це еластичний, термопластичний аморфний потрійний сополімер, що має підвищену ударостійкість в порівнянні з полістиролом загального

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

призначення. Також даний матеріал зносостійкий. ABS пластик володіє оптимальною комбінацією еластичності та ударостійкості, що в поєднанні з відмінною розмірною стабільністю робить його одним з найбільш популярних пластиків. Основними недоліками цього пластику є низька стійкість до ультрафіолетового випромінювання та схильність до руйнування нафтовими сполуками. Основні фізико-механічні властивості матеріалу наведені в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 — Основні характеристики ABS пластика

Густина, г/см ³	1,02 – 1,08
Міцність при розтягуванні, МПа	35 – 50
Міцність при згині, МПа	50 – 87
Міцність при стисненні, МПа	46 – 80
Усадка, %	0,4 – 0,7
Вологопоглинання, %	0,2 – 0,4
Ударна в'язкість по Шарлі (з надрі-зом), кДж/м ²	10 – 30
Жорсткість по Брінеллю, МПа	90 – 150
Температура розм'якшення, °С	90 – 105
Температура самозаймання, °С	395

Такий розкид параметрів зумовлений наявністю різних модифікацій матеріалу, що обираються залежно від умов використання [29].

Сам корпус складається з двох частин з'єднаних між собою 4-а гвинтами М2 і які проходять скрізь отвори на платі и тим самим плата надійно тримається в корпусі. Кріплення плати зображено на рис 4.3

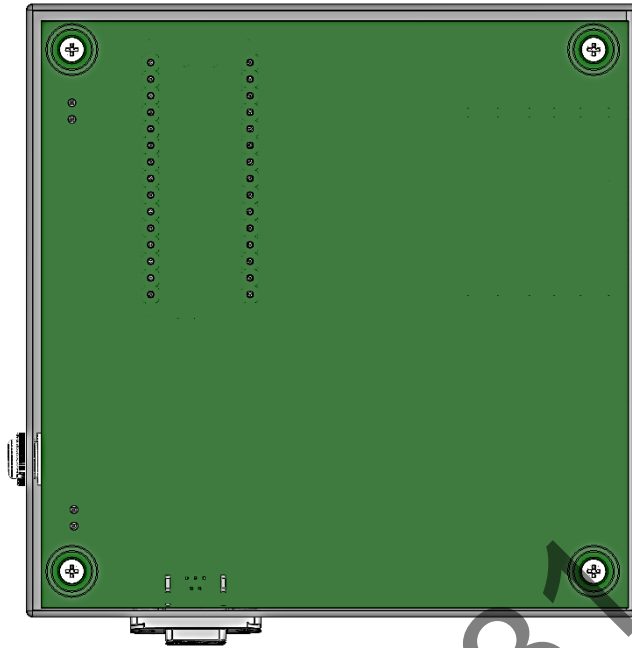


Рисунок 4.3 — Зовнішній вигляд роз'ємів

Корпус має два отвори, для роз'ємів підключення. Які зображенні на рис.

4.3

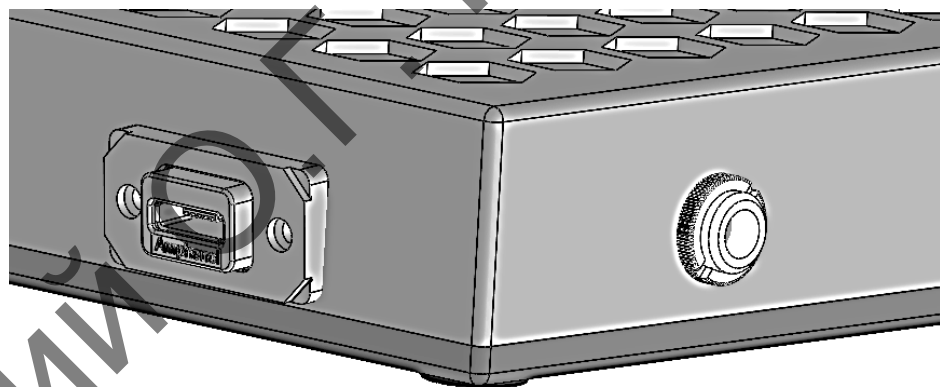


Рисунок 4.4 — Зовнішній вигляд роз'ємів

У даному розділі був проведений аналіз з точки зору технолога, визначені матеріали для виготовлення плати та корпусу пристрою. Також проведені розрахунки для визначення габаритів друкованої плати та параметрів провідників. Для проектування корпусу використане програмне забезпечення SOLIDWORKS 2021. Корпус розроблений враховуючи вимоги технічного завдання.

					PI-n81. 203719.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5 РОЗРАХУНОК, ЩО ПІДТВЕРДЖУЄ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

Для перевірки працездатності виробу, було прийнято рішення використати спеціалізовану програму та електронний посібник для неї.[30]. Програма дозволяє обчислювати стандартні прямокутні плати. В данному проекті розміри плати $70 \times 70 \text{ мм}^2$, а габарити корпусу взяті $80 \times 80 \text{ мм}$.

5.1 Розрахунок теплового режиму

З допомогою програми BlockTermo, було проведено розрахунок розподілення тепла від нагрітих елементів.

Пристроєм, який постійно знаходиться в активному стані являється мікро-схема DD1 та світлодіодна матриця. Вхідні дані для програми наведені в таблиці 5.1.

Розрахунок проводиться у режимі герметичного корпусу без перфорацій.

Таблиця 5.1 — Вхідні даня програми BlockTermo1

Розміри корпусу блока:	Ширина B	80 мм
	Глибина L	80 мм
	Висота H	26 мм
Товщина стінки корпусу	3 мм	
Критерій теплопровідності матеріалу стінки	0,2 Вт/м.К	
Температура оточуючого середовища	20 °C	
Коефіцієнт чорноти поверхонь:	Зовнішнього корпусу	0,4
	Внутрішнього корпусу	0,4
	Нагрітої зони в середині корпусу	0,8
Розміри нагрітої зони:	Ширина gx	70 мм
	Глибина gy	70 мм
	Висота gz	1,5 мм
Координати центра зони відносно центру блока:	dx	0
	dy	0
	dz	4
Теплова потужність зони	0,5 Вт	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

PI-n81. 203719.001 ПЗ

Арк.

49

За результатами розрахунку середньповерхнева температура нагрітої зони становить 32,6 °С, а температура повітря у корпусі 28,5 °С.

Середня теплова потужність компонентів схеми не буде перевищувати 100 мВт, оскільки робочі струм та напруга менші за максимально допустимі. Розрахунок при такому значенні теплової потужності показує, що температура нагрітої зони складає 22,8 °С, а повітря у корпусі 21,9 °С.

5.2 Розрахунок показників надійності

На показники надійності пристрою повною мірою впливають розрахунки теплового режиму, які були розраховані в попередньому розділі.

Для обрахунку використовується програма Relia. Розрахунок проводиться для найбільш навантажених елементів друкованої плати та для найгірших умов роботи взятих з результатів попереднього розрахунку. Вхідні дані наведені у таблиці 5.2. Результат розрахунку наведений на рис. 5.2.

Таблиця 5.2 — Вхідні даня програми Relia

Розміри плати:	Довжина	70 мм
	Ширина	70 мм
	Товщина	1,5 мм
Температура оточуючого середовища		28,5 °С
Теплофізичні характеристики процесу теплообміна	Критерій теплопровідності матеріалу плати	0,3 Вт/м.К
	Критерій тепловіддачі з бічних поверхонь плати	10 Вт/м.К
	Критерій тепловіддачі з бічних поверхонь ТВЕ	10 Вт/м.К

ПОКАЗНИКИ НАДІЙНОСТІ СКМ1:

ЕЕС	<i>P</i>	<i>Te</i>	<i>Iam0</i>	<i>Knc</i>	<i>P(t)</i>
N					
1	0,71	0	0,001925	0,1	1
2	0,696	0	0,001925	0,05	1
3	0,5	0	0,001925	0,05	1
4	0,25	0	0,1325	0,02	1
5	0,35	0	0,001925	0,02	1
6	0,125	0	0,1325	0,3	1
7	0,125	0	0,1325	0,3	1
8	0,125	0	0,1325	0,3	1
9	0,125	0	0,1325	0,07	1

P - потужність тепловиділення ЕЕС, Вт
Te - температура ЕЕС, град С
Iam0 - номінальна інтенсивність відмов
Knc - коефіцієнт навантаження
P(t) - імовірність безвідмовної роботи ЕЕС

Імовірність безвідмовної роботи СКМ1

Рисунок 5.2 — Результати розрахунку у Relia2015

За результатами розрахунку програмою імовірність безвідмовної роботи на часовому проміжку в 10000 годин складає 1. Це означає, що пристрій проробить вказаний у технічному завданні період часу без відмов.

5.3 Розрахунок віброміцності

Для перевірки чутливості плати до вібраційних впливів передбачених умовами вказаними в технічному завданні застосовується доповнення SOLIDWORKS Simulation, а саме частотний аналіз (Frequency). На краях стійок встановлена фіксована геометрія, оскільки саме вони створюють опору для друкованої плати.

Для аналізу результатів викликається список масової участі по трьом глобальним напрямкам X, Y та Z нормалізованих відносно загальної маси пристрою [31]. Список відображає яка частина маси моделі буде взаємодіяти

з власною частотою. Результати симуляції показали, що по осі X небезпечні коливання з частотою 416 Гц, по осі Y — 451 Гц, по осі Z — 636 Гц. Ці частоти перевищують максимальну частоту вібраційних впливів (100 Гц). Отже обраний варіант встановлення плати забезпечує вимогам до віброміцності

В цьому розділі були приведені показники надійності пристрою, та доведена його процесдатність.

					<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу ринку були визначені всі переваги та недоліки аналогів. Головним фактором, який виступає конкурентноспроможним, є керування та доступність на нашому ринку.
2. На основі аналізу аналогів, розроблено структурну схему пристрою. На основі якої синтезована принципова схема. Напруга живлення становить 5 В. Вибір компонентної бази керувався доступністю елементів на українському ринку, невисокою ціною та малою потужністю. Основними елементами стали мікроконтролер Arduino Nano, світлодіодна матриця та Bluetooth модуль.
3. Проведено аналіз з точки зору технолога, обрано: матеріал плати фольгований склотекстоліт FR4 35/35 1,5мм, хімічний субтрактивний метод виготовлення та клас точності плати — 3. За допомогою програмного забезпечення Altium Designer спроектовано друковану плату, виконано компоновку та трасування. У середовищі SolidWorks виконано тривимірне моделювання корпусу приладу. Розроблено комплект КД.
4. Проведені розрахунки, які визначають надійність, тепловий режим та підтверджують працездатність. Згідно розрахунків температура повітря у корпусі не перевищує 22°C за температури оточуючого середовища 20 °C. Імовірність безвідмовної роботи складає 1 на проміжку в 10000 годин. Резонансна частота плати (415,17 Гц) яка в 4 рази перевищує максимальну частоту впливу (0,7 — 100 Гц).

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Графічний аналізатор спектру «Fun Generation RTA-31» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://www.thomann.de/gb/fun_generation_rta_31.htm — Назва з екрану.
2. Графічний аналізатор спектру «American Audio DB Display MKII» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://www.thomann.de/gb/american_audio_db_display_mkii.htm — Назва з екрану.
3. Графічний аналізатор спектру «the t.tracks DBMeter» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://www.thomann.de/gb/the_t.tracks_dbmeter.htm — Назва з екрану.
4. Графічний аналізатор спектру «Music Spectrum Kit» » — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://www.banggood.com/Assembled-LED-Music-Spectrum-Display-Production-Finished-Product-with-Shell-p-1828363.html?gmcCountry=UA¤cy=UAH&cur_warehouse=CN&createTm p=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=sandra &utm_campaign=sandra-ssc-ua-en-all-0204&ad_id=496617779448&gclid=Cj0KCQjwpdqDBhCSARIsAEUJ0hMwf7lv mEexuxeO54GnLFw2xbYVECMqVs408J-t4eQ6sp0Z-22Q2oaAiMOEALw_wcB — Назва з екрану.
5. Графічний аналізатор спектру «Nobsound 14x24 Music Spectrum Audio Spectrum Sound» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://www.amazon.com/Nobsound-Music-Spectrum-Display-Analyzer/dp/B014KLRU9I/ref=pd_lpo_201_t_0/134-0052545-3226221?encoding=UTF8&pd_rd_i=B014KLRU9I&pd_rd_r=bb524b89-886c-4bfd-9573-e1d7ec37b1bf&pd_rd_w=0qrDy&pd_rd_wg=Hrm9N&pf_rd_p=337be819-13af-4fb9-8b3e-

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>				

10. Мікроконтролер «**Arduino MEGA**» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod176-arduino-mega-2560-rev3-a000067> — Назва з екрану.

11. Мікроконтролер «**NodeMCU**» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: https://arduino-geek.pp.ua/product/nodemcu-v3-lua-wi-fi-esp8266-cp2102/?gclid=Cj0KCQjw4ImEBhDFARIsAGOTMj9CSskN02lYjxBoXka7CgcQjMF69LEHIDcJs8oFOdxtZa-qEhXn8MQaAsY-EALw_wcB — Назва з екрану.

12. Мікроконтролер «**NodeMCU**» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod3458-modyl-wi-fi-esp32-s-kameroi-2mp> — Назва з екрану.

13. Мікроконтролер «**NodeMCU**» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami> — Назва з екрану.

14. Технологія Bluetooth — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://ate-m.by/wiki/term/tekhnologiya-bluetooth/#:~:text=Bluetooth%20%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%20%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B9%20%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8E%20%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D0%B9,%D0%B7%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BE%D1%82%20%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0%20%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0>. — Назва з екрану.

15. Модуль зв'язку JDY-30 SPP — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4311-bluetooth-modyl-jdy-30-spp-bk323> — Назва з екрану.

										Арк.
										56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>					

16. Модуль зв'язку HC-05 — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod999-bluetooth-modyl-hc-05> — Назва з екрану.
17. Модуль зв'язку HC-06 — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod241-bluetooth-modyl-hc-06> — Назва з екрану.
18. «Радіомаг» мережа магазинів радіодеталей — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/catalog/0805/177> — Назва з екрану.
19. SMD 5050 — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://asenergi.com/catalog/svetodiody-smd/smd-5050.html> — Назва з екрану.
20. «Mini-Tech» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/rgb-8x8-matrix-ws2812b> — Назва з екрану.
21. «DNS Club» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://club.dns-shop.ru/blog/t-169-drugaya-audiotehnika/22855-chem-aux-otlichaetsya-ot-jack/> — Назва з екрану.
22. Про USB Type - C — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://2shemi.ru/raspinovka-mikro-usb-razema/> — Назва з екрану.
23. Про Assembler — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://ravesli.com/uroki-assemblera/> — Назва з екрану.
24. Про C++ — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <https://ravesli.com/uroki-cpp/> — Назва з екрану.
25. Про C — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <http://progopedia.ru/language/c/> — Назва з екрану.
26. Про «Дискретномт перетвореннз Фур'є» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <http://mikrotik.kpi.ua/index.php/courses-list/dsp-ti/111-implementation-of-fir-filter-using-a-discrete-fourier-transform-lab-7> — Назва з екрану.
27. Про «Оцифровка звуку» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу: <http://wiki.openmusiclabs.com/wiki/ArduinoFHT> — Назва з екрану.

										Арк.
										57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>					

28. Мобільний додаток «GyverMatrixBT» — [Електронний ре-сурс]. — Режим доступу:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.beragumbo.GyverMatrixBT> —

Назва з екрану.

29. Описание и марки полимеров – АБС–пластик — Полимерные материалы [Електронний ресурс] — Режим доступу:

<http://www.polymerbranch.com/> — Назва з екрану.

30. Б. М. Уваров. Автоматизація визначення показників механічної витривалості, теплових режимів та надійності радіоелектронних апаратів. — Київ, НТУУ “КПІ”, 2015. — 128 с.


31. Массовое участие (нормализовано) — Справка по SOLIDWORKS [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://help.solidworks.com/2012> —

Назва з екрану.

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>PI-n81. 203719.001 ПЗ</i>					

ДОДАТОК А.
ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ


ПОГОДЖЕНО
Керівник дипломного проекту
ст. викладач Головня В.М.



(підпис)

12 червня 2021
(дата)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Завідувач кафедри радіоконстру-
ювання та виробництва радіоапа-
ратури д.т.н., проф. Нелін Є. А.
ва



(підпис)

14 червня 2021
(дата)

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
«Графічний аналізатор аудіоспектра»

Київ 2021

1 НАЗВА, ШИФР І ПІДСТАВИ ДО ВИКОНАННЯ

Назва дипломного проекту: «Графічний аналізатор аудіо спектра».

Шифр проекту: РІ-п81.203719.

Підстава до виконання: завдання, видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури від «12» квітня 2021 р.

2 МЕТА ВИКОНАННЯ І ПРИЗНАЧЕННЯ ПРОЕКТУ

Метою є розробка схеми електричної принципової, друкованого вузла та конструкції пристрою, перевірка на працездатність та оформлення конструкторської документації.

Пристрій призначений для графічного відображення звукового аудіо сигналу, шляхом його оцифровки та подальшої передачі на відображаючий елемент.

3 ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

3.1 Вимоги призначення

Робоча напруга.....до 5 В;
 Тип з'єднання.....дротове, Bluetooth;
 Канал зв'язку.....мережа Bluetooth;
 Радіус з'єднання.....до 10 м;
 Тип керування..... смартфон.

3.2 Вимоги життєздатності та стійкості до зовнішніх впливів і чинників

Кліматичне виконання виробу – УХЛ 3 (згідно ГОСТ 15150-69);

Захист від механічних пошкоджень – М13 (згідно ГОСТ 17516.1-90);
Ступінь захисту оболонки – IP44 (згідно ДСТУ ІЕС 60529:2019).

3.3 Вимоги надійності

Середній наробіток на відмовлення, не менше, 10000 годин;
Ймовірність безвідмовної роботи протягом 1000 годин, не менше 0,8;
Середній строк служби, не менше 1 року;
Вимоги до технологічності по ГОСТ 14.201-83.

3.4 Вимоги до конструкції

В конструкції повинна бути використана компонентна база, яку серійно випускає промисловість. Матеріалом плати використати фольгований склотекстоліт FR4 35 1,5мм.

3.5 Вимоги до дизайну і ергономіки

Вимоги згідно ДСТУ 3943-2000 та ДСТУ 3944-2000.

Корпус пристрою буде друкуватися на 3D принтері. Колір корпусу може вибиратися користувачем.

3.6 Вимоги до експлуатації, зручності технічного обслуговування та ремонту

Умови експлуатації:

- робочі температури, -45 ... +45 оС;
- граничні температури, -50 ... +45 оС;

— верхнє значення відносної вологості, 98 % при 25 °С;

3.7 Вимоги безпеки життя, здоров'я, майна громадян та охорони до-вкілля

Вимоги згідно ДСТУ 7237:2011 та ДСТУ ISO 14001:2015.

3.8 Вимоги сумісності

Вимоги згідно ДСТУ 2793-94.

3.9 Вимоги до транспортування і зберігання

Транспортувати автомобільним, залізничним та авіаційним видом транспорту в упакованому вигляді.

Умови зберігання виробу – 1 Л (згідно ГОСТ 15150-69).

4 ВИМОГИ ДО СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ І ПОКУПНИХ КОМПЛЕКТУВАЛЬНИХ ВИРОБІВ

В конструкції повинні бути використані компонентна база та матеріали, які серійно випускає промисловість та дозволені до застосування в РЕА загального призначення.

Маркування: вимоги до маркування не висуваються.

Пакування: прилад необхідно помістити в картонну коробку.

Консервація: не передбачено.

6 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Оформлювати документацію згідно ДСТУ 3008:2015.

6.1 Орієнтовний зміст дипломного проекту

- Титульний лист
- Завдання
- Анотація (двома мовами)
- Титульний лист пояснювальної записки
- Зміст
- Вступ
- 1 Аналіз ринку
- 2 Розробка пристрою
- 3 Розробка програмного забезпечення пристрою
- 4 Результати конструкторської розробки
- 5 Розрахунок працездатності пристрою
- Висновки
- Перелік джерел посилань
- Додатки 3

8 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПО ЗАКІНЧЕНІ ЕТАПІВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ І У ЦІЛОМУ

1. Представлення проміжних результатів дипломного проекту керівнику в зазначені терміни;
2. Представлення завершеного дипломного проекту керівнику;
3. Перевірка дипломного проекту на наявність плагіату;
4. Представлення кафедри завершеного дипломного проекту за 10 днів до дати захисту;
5. Захист дипломного проекту перед екзаменаційною комісією.

Виконавець

Ліпський О.Г. 

Додаток Б.
ЛІСТИНГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

```
#define LOG_OUT 1 // use the log output function
#define FHT_N 256 // set to 256 point fht
#include <FHT.h>
#define MIC_PIN 0
double prevVolts = 100.0;

#define cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
#define sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  sbi(ADCSRA, ADPS2);
  cbi(ADCSRA, ADPS1);
  sbi(ADCSRA, ADPS0);

  analogReference(EXTERNAL);
}

void loop() {
  for (int i = 0 ; i < FHT_N ; i++) {
    int sample = analogRead(MIC_PIN);
    fht_input[i] = sample; // put real data into bins
  }
  fht_window(); // window the data for better frequency response
  fht_reorder(); // reorder the data before doing the fht
  fht_run(); // process the data in the fht
  fht_mag_log(); // take the output of the fht
```

```

for (int curBin = 0; curBin < FHT_N / 2; ++curBin) {
    Serial.print(fht_log_out[curBin]);
    Serial.print(" ");
}
Serial.println("");
delay(500);
}

// ----- НАЛАШТУВАННЯ -----
// матриця
#define WIDTH 8 // ширина матриці (число діодів)
#define HEIGHT 8 // висота матриці (число діодів)
#define BRIGHTNESS 240 // яскравість (0 - 255)

// кольору висоти смуг спектра. Довжини смуг задаються приблизно в
рядку 95
#define COLOR1 CRGB :: Green
#define COLOR2 CRGB :: Yellow
#define COLOR3 CRGB :: Orange
#define COLOR4 CRGB :: Red

// сигнал
#define INPUT_GAIN 1.5 // коефіцієнт посилення вхідного сигналу
#define LOW_PASS 30 // нижній поріг чутливості шумів (немає стрибків
при відсутності звуку)
#define MAX_COEF 1.1 // коефіцієнт, який робить "максимальні" піки
трохи менше максимуму, для більш приємного сприйняття
#define NORMALIZE 0 // нормалізувати піки (стовпчики низьких і
високих частот будуть однакової довжини при однаковій гучності) (1 вкл, 0
викл)

// анімація
#define SMOOTH 0.3 // плавність руху стовпчиків (0 - 1)
#define DELAY 4 // затримка між оновленнями матриці (періодичність
основного циклу), мілісекунди

```

```

// гучність
#define DEF_GAIN 50 // максимальний поріг за замовчуванням (при
MANUAL_GAIN або AUTO_GAIN ігнорується)
#define MANUAL_GAIN 0 // ручна настройка потенціометром на гучність
(1 вкл, 0 викл)
#define AUTO_GAIN 1 // автонастройка по гучності (експериментальна
функція) (1 вкл, 0 викл)

// точки максимуму
#define MAX_DOTS 1 // включити / вимкнути отрисовку точок максимуму
(1 вкл, 0 викл)
#define MAX_COLOR CRGB :: Red // колір точок максимуму
#define FALL_DELAY 50 // швидкість падіння точок максимуму
(затримка, мілісекунди)
#define FALL_PAUSE 700 // пауза перед падінням точок максимуму,
мілісекунди

// масив тонів, розташовані приблизно по параболі. Від 80 Гц до 16 кГц
byte posOffset [9] = {2, 4, 8, 12, 16, 25, 35, 80, 120};
// ----- НАЛАШТУВАННЯ -----

// ----- Піни -----
// для збільшення точності зменшуємо опорна напруга,
// виставивши EXTERNAL і підключивши Aref до виходу 3.3V на платі
через дільник
// GND --- [10-20 кОм] --- REF --- [10 кОм] --- 3V3

#define AUDIO_IN 0 // пін, куди підключений звук
#define DIN_PIN 6 // пін Din стрічки (через резистор!)
#define POT_PIN 7 // пін потенціометра настройки (якщо потрібен
MANUAL_GAIN)

// ----- Піни -----

// ----- ДЛЯ РОЗРОБНИКІВ -----

```



```

#define NUM_LEDS WIDTH * HEIGHT
#define FHT_N 256 // ширина спектра x2
#define LOG_OUT 1
#include <FHT.h> // перетворення Хартлі
#include <FastLED.h>
CRGB leds [NUM_LEDS];

#define cbi (sfr, bit) (_SFR_BYTE (sfr) &= ~ _BV (bit))
#define sbi (sfr, bit) (_SFR_BYTE (sfr) |= _BV (bit))

int gain = DEF_GAIN; // посилення за замовчуванням
unsigned long gainTimer, fallTimer;
byte maxValue;
float k = 0.05, maxValue_f = 0,0;
int maxLevel [16];
byte posLevel_old [16];
unsigned long timeLevel [16], mainDelay;
boolean fallFlag;
// ----- ДЛЯ РОЗРОБНИКІВ -----

void setup () {
  // піднімаємо частоту опитування аналогового порту до 38.4 кГц, по
теоремі
  // Котельникова (Найквіста) максимальна частота дискретизації буде 19
кГц
  // http://yaab-arduino.blogspot.ru/2015/02/fast-sampling-from-analog-
input.html
  sbi (ADCSRA, ADPS2);
  cbi (ADCSRA, ADPS1);
  sbi (ADCSRA, ADPS0);

  analogReference (EXTERNAL);

  Serial.begin (9600);
  FastLED.setBrightness (BRIGHTNESS);

```

```

FastLED.addLeds <WS2812B, DIN_PIN, GRB> (leds, NUM_LEDS);
}

void loop () {
  if (millis () - mainDelay > DELAY) { // ітерація головного циклу
    mainDelay = millis ();

    analyzeAudio (); // функція ФНТ, забиває масив fht_log_out []
    величинами по спектру

    for (int i = 0; i < 128; i++) {
      // ось тут відразу фільтруємо весь спектр за мінімальним LOW_PASS
      if (fht_log_out [i] < LOW_PASS) fht_log_out [i] = 0;

      // посилювати сигнал
      fht_log_out [i] = (float) fht_log_out [i] * INPUT_GAIN;

      // зменшуємо гучність високих частот (пропорційно частоті) якщо
      включено
      if (NORMALIZE) fht_log_out [i] = (float) fht_log_out [i] / ((float) 1 +
      (float) i / 128);
    }

    maxValue = 0;
    FastLED.clear (); // очистити матрицю
    for (byte pos = 0; pos < WIDTH; pos++) { // для кожного стовпця матриці
      int posLevel = fht_log_out [posOffset [pos]];
      byte linesBetween;
      if (pos > 0 && pos < WIDTH) {
        linesBetween = posOffset [pos] - posOffset [pos - 1];
        for (byte i = 0; i < linesBetween; i++) { // від попередньої смуги до
        поточної
          posLevel += (float) ((float) i / linesBetween) * fht_log_out [posOffset
          [pos] - linesBetween + i];
        }
      }
    }
  }
}

```

```

linesBetween = posOffset [pos + 1] - posOffset [pos];
for (byte i = 0; i < linesBetween; i ++) { // від попередньої смуги до
поточної
    posLevel += (float) ((float) i / linesBetween) * fht_log_out [posOffset
[pos] + linesBetween - i];
}
}

// знайти максимум з пачки
тонів
if (posLevel > maxValue) maxValue = posLevel;

// фільтрація довжини стовпчиків, для їх плавного руху
posLevel = posLevel * SMOOTH + posLevel_old [pos] * (1 - SMOOTH);
posLevel_old [pos] = posLevel;

// перетворити значення величини спектра в діапазон 0..HEIGHT з
урахуванням налаштувань
posLevel = map (posLevel, LOW_PASS, gain, 0, HEIGHT);
posLevel = constrain (posLevel, 0, HEIGHT);

if (posLevel > 0) {
for (int j = 0; j < posLevel; j ++) { // стовпці
uint32_t color;
if (j < 5) color = COLOR1;
else if (j < 10) color = COLOR2;
else if (j < 13) color = COLOR3;
else if (j < 15) color = COLOR4;

if (pos % 2 != 0) // якщо парна рядок
    leds [pos * WIDTH + j] = color; // заливаємо в прямому порядку
else // якщо непарна
    leds [pos * WIDTH + WIDTH - j - 1] = color; // заливаємо в
зворотному порядку
}
}

```

```

    }

    if (posLevel > 0 && posLevel > maxLevel [pos]) { // якщо для цієї смуги є
максимум, який більше попереднього
        maxLevel [pos] = posLevel; // запам'ятати його
        timeLevel [pos] = millis (); // запам'ятати час
    }

    // якщо точка максимуму вище нуля (або дорівнює йому) - включити
піксель
    if (maxLevel [pos] >= 0 && MAX_DOTS) {
        if (pos % 2 != 0) // якщо парна рядок
            leds [pos * WIDTH + maxLevel [pos]] = MAX_COLOR; // заливаємо
в прямому порядку
        else // якщо непарна
            leds [pos * WIDTH + WIDTH - maxLevel [pos] - 1] = MAX_COLOR;
// заливаємо в зворотному порядку
    }

    if (fallFlag) { // якщо падаємо на крок
        if ((long) millis () - timeLevel [pos] > FALL_PAUSE) { // якщо максимум
тримався на своїй висоті довше FALL_PAUSE
            if (maxLevel [pos] >= 0) maxLevel [pos] -; // зменшити висоту точки
на 1
            // увага! Приймає мінімальне значення -1!
        }
    }
}
FastLED.show (); // відправити на матрицю

fallFlag = 0; // скинути прапор падіння
if (millis () - fallTimer > FALL_DELAY) { // якщо настав час наступного
падіння
    fallFlag = 1; // підняти прапор
    fallTimer = millis ();
}

```

```

}

// якщо дозволена ручна настройка рівня гучності
if (MANUAL_GAIN) gain = map (analogRead (POT_PIN), 0, 1023, 0, 150);

// якщо дозволена авто настройка рівня гучності
if (AUTO_GAIN) {
  if (millis () - gainTimer > 10) { // кожні 10 мс
    maxValue_f = maxValue * k + maxValue_f * (1 - k);
    // якщо максимальне значення більше порога, взяти його як максимум
    для відображення
    if (maxValue_f > LOW_PASS) gain = (float) MAX_COEF * maxValue_f;
    // якщо немає, то взяти поріг побільше, щоб шуми взагалі не
    проходили
    else gain = 100;
    gainTimer = millis ();
  }
}
}
}
}

```

```

void analyzeAudio () {
  for (int i = 0; i < FHT_N; i++) {
    int sample = analogRead (AUDIO_IN);
    fht_input [i] = sample; // put real data into bins
  }
  fht_window (); // window the data for better frequency response
  fht_reorder (); // reorder the data before doing the fht
  fht_run (); // process the data in the fht
  fht_mag_log (); // take the output of the fht
}

```

/*

Алгоритм роботи:

Аналіз спектру, на виході маємо масив величин смуг спектра (128 смуг)

Фільтрація за нижнім значенням для кожної смуги (128 смуг)
Перехід від 128 смуг до 8 смугах зі збереженням міжполосних значень по лінійної залежності

Пошук максимумів для корекції висоти стовпчиків на матриці

Переклад чистого "ваги" смуги до висоти матриці

Відправка смуг на матрицю

Розрахунок позицій точок максимуму і відправка їх на матрицю

Мимохідь фільтрація верхніх піків, корекція висоти стовпчиків від гучності та інше

* /

Ліпський О.Г. РІ-П81, 2021


ДОДАТОК В.
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ДРУКОВАНИЙ ВУЗОЛ

Ліпський О.Г. РІ-П81, 2021

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Прим.
				<u>Документація</u>		
A3			PI-п81.203719.001 СК	Складальний кресленник		
A3			PI-п81.203719.001 ЕЗ	Схема електрична принципова		
A4			PI-п81.203719.001 ПЕ	Перелік елементів		
				<u>Деталі</u>		
		1	PI-п81.758723.001	Друкована плата	1	
				<u>Інші вироби</u>		
				Hitano 10 пФ 50 В ± 5%	1	С1
				Arduino nano	1	DD1
				HC-06	1	DD2
				Hitano 10 кОм 0,125 Вт ±5%	3	R1-R3
				Hitano 220 Ом 0,125 Вт ±5%	1	R4
				Micro USB	1	X1
				3.5 mini jack	1	X2
				<u>WS2812b</u>	64	HL1- HL64
			PI-п81.468213.001			
		№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.	Ліпський О.Г				Лім.	Арк
Пров.	Головня В.М.	<i>[Підпис]</i>			1	1
Т.конт					НТУУ «КПІ» РТФ	
Н.конт						
Утв						
				Друкований вузол		

**ДОДАТОК Г.
ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ**

Ліпський О.Г. РІ-П81, 2021

Позн.	Найменування	Кіл.	Примітки	
	<u>Конденсатори</u>			
C1	C0805B104J500NT – Hitano 10 пФ 50 В ± 5%	1		
	<u>Мікросхеми</u>			
DD1	Arduino nano	1		
DD2	HC-06	1		
	<u>Резистори</u>			
R1–R3	RC0805JR-1MR – Hitano 10 кОм 0,125 Вт ±5%	3		
R4	RC0805JR-1MR – Hitano 220 Ом 0,125 Вт ±5%	1		
	<u>Роз'єми</u>			
X1	Micro USB	1		
X2	3.5 mini jack	1		
	<u>Світлодіоди</u>			
HL1-HL64	WS2812b	64		
PI-п81. 203719.001 ПЕ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Ліпський О.Г			
Перевірів	Головня В.М			
Рецензія				
Н. контроль				
Затвердив				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Перелік Елементів				
		Лім.	Арк	Аркушіє
			1	1
НТУУ «КПІ» РТФ				