

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

**Приладобудівний факультет**

**Приладів і систем неруйнівного контролю**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.Г. Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології  
та системи неруйнівного контролю і діагностики»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Прилад для автоматизованого налаштування гітари»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПК-61

Маснуха Дмитро Володимирович \_\_\_\_\_

Керівник:

Старший викладач, кандидат технічних наук,

Богдан Галина Анатоліївна \_\_\_\_\_

Консультант з розробки електричної системи:

Доцент, кандидат технічних наук,

Баженов Віктор Григорович \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, кандидат технічних наук, доцент,

Марина В'ячеславівна Філіппова \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП 61.11.0000.000 ПЗ	Пояснювальна записка	48	
3	A3	ДП ПК61.11.00.001 СК	Деталювання	1	
4	A2	ДП ПК61.11.00.002 СК	Деталювання	1	
5	A2	ДП ПК61.11.00.003 СК	Деталювання	1	
6	A1	ДП ПК61.11.00.000 СК	Складальний кресленик	1	
7	A2	ДП ПК61.11.00.000 ЕЗ	Схема електрична принципова	1	
8	A3	ДП ПК61.11.00.000 Е1	Схема структурна	1	
9	A3	ДП ПК61.11.00.000 КЗ	Схема кінематична	1	

				<b>ДП 61.11.0000.000</b>		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Маснуха Д.В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Богдан Г.А.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСНК Гр. ПК-61	
Н/контр.						
Зав.каф.	Протасов А.Г					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Прилад для автоматизованого налаштування  
гітари»**

Київ – 2020 року

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

**Приладів та систем неруйнівного контролю**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – **151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.А. Протасов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект студенту  
**Маснусі Дмитру Володимировичу**

1. Тема проекту «Прилад для автоматизованого налаштування гітари», керівник проекту Богдан Галина Анатоліївна, старший викладач, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «25»травня 2020 р. № 1180-с
2. Термін подання студентом проекту 13.06.2020
3. Вихідні дані до проекту: метод вимірювання акустичний, вихідний момент 5 Н\*м, вихідна частота обертання 10 об/хв
4. Зміст пояснювальної записки Вступ, аналітичний огляд, електронна частина, конструкторська частина
5. Перелік графічного матеріалу: структурна схема, схема електрична принципова, складальний кресленик, схема кінематична, деталювання.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка електричної схеми	Баженов В.Г.	20.04.2020	30.05.2020

7. Дата видачі завдання 14.03.2020

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів курсового проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Формулювання завдання проекту	15.03.2020	
2.	Проведення аналітичного огляду	13.04.2020	
3.	Розрахунки	20.04.2020	
4.	Підбір та розрахунок компонентів	25.04.2020	
5.	Розробка креслеників	02.06.2020	
6.			
7.			
8.			

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Маснуха Д.В.

(прізвище, ім'я по-батькові)

Керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

Богдан Г.А.

(прізвище, ім'я по-батькові)

«    »

\_\_\_\_\_ 2020 р.

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект виконаний студентом VI курсу групи ПК-61 Маснухою Дмитром Володимировичем.

На дипломний проект бакалавра було вирішено розробити прилад, за допомогою якого можна автоматизовано налаштувати гітару. В ході виконання даного проекту було розглянуто існуючі види тюнерів, описано принципи їх роботи, а також розглянуті переваги та недоліки існуючих приладів.

В основу проекту покладено акустичні методи контролю, спектральний аналіз сигналів та автоматизація процесу налаштування такого струнного музичного інструменту, як гітара. Потреба в використанні даних пристроїв є не лише у гітаристів, котрі тільки починають вивчати гітару, а й у професійних музикантів, з метою швидкого та точного налаштування свого інструменту.

Прилад для автоматизованого налаштування гітари було вирішено зібрати на основі плати Arduino Due. В ході виконання проекту були проведені необхідні розрахунки всіх вузлів електронної та конструкторської частини проекту. Також була побудована 3D модель даного приладу. Розробка автоматизованого тюнера для гітари була успішно завершена.

Перелік ключових слів: автоматизація, налаштування, швидке перетворення Фур'є, тюнер.

## ANNOTATION

Bachelor's degree project made student groups course VI PC-61 Masnuhoyu Dmitry.

For the bachelor's thesis project, it was decided to develop a device with which you can automatically tune the guitar. During the implementation of this project, the existing types of tuners were considered, the principles of their operation were described, as well as the advantages and disadvantages of existing devices.

The project is based on acoustic control methods, spectral analysis of signals and automation of the process of tuning such a stringed musical instrument as a guitar. The need to use these devices is not only for guitarists who are just beginning to learn the guitar, but also for professional musicians to quickly and accurately tune their instrument.

It was decided to assemble the device for automated guitar tuning on the basis of the Arduino Due board. During the project implementation the necessary calculations of all components of the electronic and design part of the project were performed. A 3D model of this device was also built. The development of an automated tuner for the guitar was successfully completed.

Keyword list: automation, tuning, fast Fourier transform, tuner.

## Зміст

	Стор.
ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ I.....	7
1. Аналітичний огляд .....	7
1.1. Пристрої для налаштування гітари .....	7
1.2. Акустичний метод вимірювання сигналів .....	12
1.3. Звукознімачі .....	16
1.4. Висновки до розділу .....	19
Розділ II.....	20
2. Електронна частина пристрою .....	20
2.1. Розробка структурної схеми пристрою.....	20
2.1.1. Опис структурної схеми приладу .....	21
2.2. Підбір мікроконтролера.....	21
2.3. Підбір двигуна.....	25
2.3.1. Розрахунок двигуна .....	27
2.4. Підбір драйвера двигуна.....	28
2.5. Конструкція дисплею .....	33
2.6. Конструкція кнопки .....	33
2.7. Розрахунок трансімпедансного підсилювача .....	34
2.8. Висновки до розділу.....	37
Розділ III.....	38
3. Конструкторська частина.....	38
3.1. Конструкція гітарного кілка .....	38
3.2. Основні характеристики кілків .....	39
3.3. Конструкція роз'єму для підключення гітари .....	41
3.4. Розробка конструкції елемента захоплення гітарного кілка.....	42
3.5. Розробка конструкції корпусу приладу.....	43
4. Висновок.....	45

					<b>ПК61.110000.000 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Маснуха Д.В.			Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Богдан Г.А.				3	48
Реценз.					<b>ПСНК КПІ</b>		
Н. Контр.					<b>гр. ПК-61</b>		
Затверд.					<b>Прилад для автоматизованого налаштування гітари</b>		



5. Список використаної літератури .....	46
Додаток А .....	49

					<b>ПК61.110000.000 ПЗ</b>		
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>			
<i>Розроб.</i>		<i>Маснуха Д.В.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Богдан Г.А.</i>				4	48
<i>Реценз.</i>					<b>ПСНК КПІ гр. ПК-61</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							
<i>Прилад для автоматизованого налаштування гітари</i>							

## ВСТУП

З кожним роком у світі відбувається збільшення ринку продажу струнних музичних інструментів, серед яких найрозповсюдженим є такий інструмент, як гітара. Найпоширенішою проблемою, яка виникає не лише перед початківцями, але і перед досвідченими музикантами, є правильне налаштування музичного інструменту. Гра на музичному інструменті, який не налаштовано призведе не лише до безглузких спроб з'ясувати чому не звучить начебто правильно взятий акорд, але і до загального розчарування. Налаштовувати музичний інструмент на слух - це, звичайно, добре, але абсолютним музичним слухом володіє дуже мала кількість навіть професійних музикантів. Для спрощення процедури налаштування музичного інструменту використовують акустичні тюнери у вигляді програмних додатків на базі Android, які досить прості у використанні, але не дозволяють повністю автоматизувати процес.

Принцип дії всіх електронних тюнерів базується на розпізнаванні звуку, який видає інструмент (в нашому випадку відкрита струна гітари), порівнянні його з відповідним еталоном, що відповідає певній ноті, з послідовним відображенням на моніторі результатів вимірювання. Перші гітарні тюнери (музичний тюнер Strobosonn надійшов у продаж в США в 1936 році) відображали інформацію за допомогою шкали, середнє положення стрілки на якій вказувала на те що інструмент правильно відображає задану ноту, що суттєво впливало на точність налаштування. Сучасні тюнери оснащені LED / LCD екранами, але на більшості з них стиль відображення інформації залишився тим самим: стрілка на шкалі вказує на скільки нижче або вище звук у порівнянні з потрібною нотою і в який бік потрібно повертати кілок. Середнє положення стрілки - це ідеальне попадання в ноту, при цьому в багатьох моделях змінюється колір підсвічування.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						5
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

В даній роботі представлена розробка гітарного тюнера, який дозволяє повністю автоматизувати процедуру налаштування гітари. Він складається з електронної частини, що дозволяє проводити порівняння звучання струни з еталоном (порівняння звуків відбувається на основі швидкого перетворення Фур'є з використанням акустичного методу вимірювання) відповідної ноти та механічної частини, що автоматично регулює натяг струни кілком.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						6
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

# РОЗДІЛ І

## 1. Аналітичний огляд

### 1.1. Пристрої для налаштування гітари

Гітарний тюнер – пристрій, який відповідає за точність налаштування музичного струнного інструменту. Він дозволяє визначати висоту звуку або іншими словами його частоту та порівнювати зі стандартним значенням. Відомо, що існує 12 основних нот, вони становлять хроматичну гамму. Одна хроматична гамма утворює октаву. Октавою називається музичний інтервал, в якому звуки відрізняються по частоті в 2 рази, тобто частота високого звуку в 2 рази більше частоти низького. Людське вухо такі звуки майже не відрізняє тому і сприймає їх майже однаково. Якщо подивитися на гриф гітари (Рис. 1), то видно, що існують різні інкрустації на 12 ладу в порівнянні з 3-м, 5-м або 7-м. Дві крапки 12-му ладу вказують на кінець октави і початок наступного.



Рисунок 1. Зовнішній вигляд грифу гітари

Стандартне налаштування для 6 струнної гітари E A D G B E, тобто відкриті струни відповідають даним нотах. Скорочення довжини струни на один лад

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

відповідає підняття її звучання на пів тона. Таким чином, якщо найтовстіша 6 струна налаштована на Е (мі), то при затиску її на першому ладу вона буде давати F (фа), на другому - F # (фа #) і т.д. П'ята струна, налаштована на А (ля), при затиску на першому ладу дасть А # (ля #), далі В (сі) і т.д. Даний принцип лежить в основі правильного налаштування гітари [1].

Існує декілька різновидів тюнерів для гітар. Розглянемо кожний з них.

Найпростішим та найстарішим перевіреним часом пристроєм для налаштування гітари є камертон. Камертон - це прилад, що відтворює базову ноту, від якої відбувається відтворення всіх інших звуків на інструменті. Існують наступні різновиди камертона: металевий, духовий і електронний. (Рис. 2)

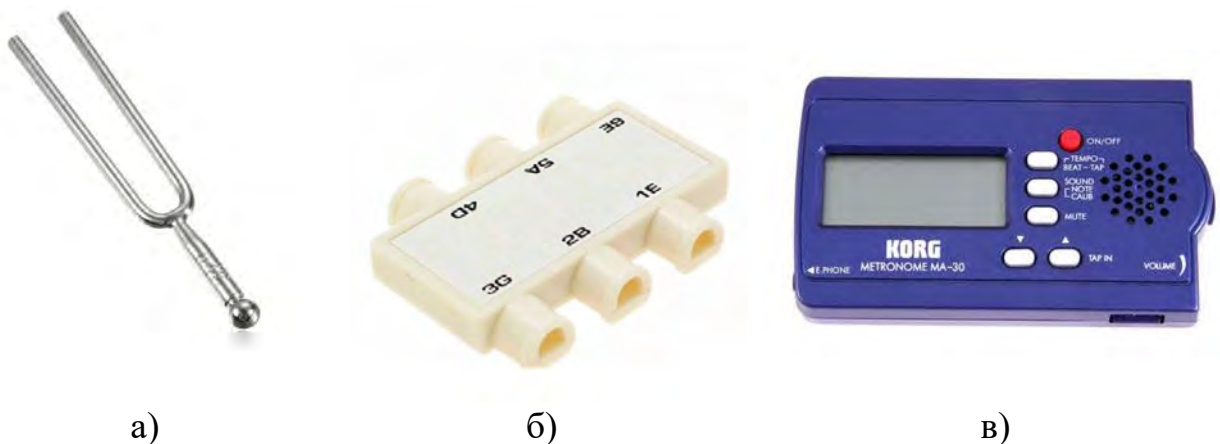


Рисунок 2. Камертон:

а) металевий, б)духовий, в)електронний

За допомогою металевого камертону відтворюють ноту «Ля» першої октави, що відповідає звучанню 1-й струни, притиснутою на 5-му ладу. Налаштування музичного інструменту відбувається на слух. Духовий камертон, на відміну від металевого, дає відразу 6 звуків відкритих струн. Електронний камертон Може давати безліч різних звуків, набір яких відрізняється в залежності від моделі.

Переваги використання камертону у якості пристрою для налаштування

гітари: простота у використанні. Недоліки: мала точність, необхідність наявності у людини музичного слуху, процес точності налаштування повністю залежить від людини.

Наступним різновидом гітарного тюнера є електронний тюнер (Рис 3). Розрізняють такі види тюнерів:

- портативний у вигляді невеликого блоку;
- тюнер-прищіпка з можливістю тимчасового закріплення на інструменті - вловлює як звук, так і вібрацію струн, виводить дані про ноту, її гучності та тональності;
- цифрова педаль-тюнер, підключається до пристроїв по дроту, використовується для електронних гітар або акустичних гітар з датчиком вібрацій.

Кожен з видів відрізняється зручністю експлуатації. Портативний поміщається в будь-яку кишеню і може використовуватися для настройки гітари, скрипки, віолончелі, контрабаса, піаніно, тоді як прищіпка менш компактна і може використовуватися тільки на струнних інструментах. Педаль тюнер - дозволяє керувати тюнером ногою, натискаючи на кнопку, розташовану по центру - не потребуючи постійно прибирати руки від гітари для налаштування.

Кожен з видів тюнерів випускається в різних варіаціях:

- з дисплеєм - виводить інформацію про силу звуку, тоні, ноті, такті і тд;
- з індикацією - зелене підсвічування - звук вірний, червона - немає;
- стрілочні - якщо звук підібраний правильно - стрілка знаходиться на середині табло.

Багато тюнерів також додатково оснащуються функцією метронома, що дозволяє при співі і письменництві визначити і задати темп. Також багато моделей мають можливість зберігати в пам'яті налаштування для кількох інструментів.

Принцип його роботи простий: проводиться індивідуальна настройка кожної

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

струни. На екрані тюнера зображені індикатори, які показують, в який бік потрібно крутити кілки, щоб забезпечити ідеальний звук. Цей різновид дуже зручний у використанні, зберігання і перенесенні, тому користується активним попитом у більшості гітаристів. Недоліки: суб'єктивна похибка викликана участю людини у процесі налаштування, не зручне розташування екрану.



Рисунок 2. Електронний тюнер

Online-тюнер (Рис 4). Являє собою програмний продукт, виражений у вигляді додатку, що встановлюється на комп'ютер.



Рисунок 3. Online-тюнер.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		10

Принцип його роботи аналогічний електронним тюнерам. Головна умова налаштування гітари таким способом - наявність мікрофона, який слугує таким собі «зв'язковим» між віртуальною і явною реальностями. Все інше налаштування проводиться так само, як і у його переносного колеги,. Покази індикатора будуть відображатися на екрані монітора.

У зв'язку з розвитком широких можливостей мобільних пристроїв з'явився і мобільний тюнер (Рис. 5), який представляє собою програмне забезпечення для стільникових телефонів.

Схема роботи аналогічна online-тюнера, за допомогою мікрофону телефону зчитується звучання кожної окремої струни і на екрані показується відхилення частоти звучання.



Рисунок 4. Мобільний тюнер.

Так само хотілося б сказати кілька слів про тюнер, який вже вбудований в гітару (Рис 6).





Рисунок 5. Вбудований тюнер.

Він не є окремим музичним аксесуаром. Функції його подібні іншим тюнерам. Однак, такий пристрій можна зустріти далеко не на всіх гітарах.

Спільним недоліком всіх розглянутих пристроїв для налаштування гітари є відсутність автоматизації процесу.

## 1.2. Акустичний метод вимірювання сигналів

Як показав проведений аналіз існуючих гітарних тюнерів в основу їх роботи покладено акустичний метод вимірювання звукових сигналів. Цей же метод ми будемо використовувати в автоматизованому пристрої, що розробляється, для порівняння отриманого звуку з музичного інструменту зі стандартним.

В загальному випадку при акустичних вимірюваннях в якості інформативних параметрів розглядають амплітуду та спектральний склад звукового сигналу та його зміну в часі [2].

Амплітуда (amplitude) визначає максимальну інтенсивність коливань – або іншими словами силу звуку. Амплітуда характеризується розмахом сигналу - найбільшим і найменшим щодо середнього значення рівнями.

В той час, як спектральний склад звукової хвилі визначає забарвлення або тембр звуку (timbre). Будь-яке періодичне коливання може бути представлено рядом Фур'є – сумою кінцевого числа синусоїдальних коливань (чистих тонів). Спектр звуку являє собою графік інтенсивності (амплітуд) цих частотних складових, які охоплюють зазвичай у вигляді вертикальних ліній відповідної висоти. Спектр чистого тону має тільки одну лінію, що відповідає його частоті; спектр будь-якого іншого коливання має більше однієї лінії. Якщо на спектрі звуку є досить гострий пік, то такий звук сприймається на слух як тон відповідної висоти, а інші складові визначають його забарвлення.

Для визначення частоти звукового сигналу необхідно аналізувати спектр сигналу, а отже в нашому випадку, в якості інформативного параметру виступає спектральний склад.

Звукова хвиля - це серія коливань повітря, які змушують вібрувати з різною частотою маленькі волоскові клітини, розташовані у внутрішньому вусі людини. Чутний нами звук являє собою суму цих вібрацій. Таким чином, можна сказати, що звуковий сигнал музичного інструменту є полігармонічним сигналом. Необхідно чітко розрізняти чисті тони, які є звичайними синусоїдальними хвилями, і реальні тони, які відтворюються музичними інструментами. Реальні тони, по суті, складаються з гармонійних обертонів з різними амплітудами. Таким чином, кожна нота, зіграна на будь-якому інструменті, являє собою складний звук, що складається з основного тону і великого числа обертонів.

Обертоном називається будь-яка власна частота вище основної, а ті обертони, частоти яких відносяться до частоти основного тону як цілі числа, називаються гармоніками. При цьому основний тон вважається першою гармонікою. Виходить, що значення частоти кожної гармоніки відносяться до основного тону в такий спосіб:  $f, 2f, 3f, 4f, \dots$

Математично, частоти для всього звукоряду обчислюються за допомогою

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

виразу:

$$f(i) = f_0 \cdot 2^{i/12}$$

де  $f_0$  - частота камертона (за еталон частоти ноти береться нота, частота якої повинна бути рівною 440 Гц, що відповідає ноті ля першої октави), а  $i$  – кількість півтонів в інтервалі від шуканого звуку до ідеалу  $f_0$ .

Таким чином, використовуючи приведену математичну формулу можна обчислити частоти для всього звукового ряду гітари. Для звичайної гітари, яка має шість струн відповідає наступний звуковий частотний ряд: Е: 82.41 Гц; А: 110.00 Гц; D: 146.82 Гц; G: 196.00 Гц; В: 246.94 Гц; е: 329.63 Гц. Дванадцяти струнна гітара, на відміну від шести струнної, має дві струни на кожен тон, які розташовані поруч одна з одною. Частоти цих 12 струн наступні: Е: 82.41 Гц; е: 164.82 Гц; А: 110.00 Гц; а: 220.00 Гц; D: 146.82 Гц; d: 293.64 Гц; G, g: 196.00 Гц; В, b: 246.94 Гц; Е, е: 329.63 Гц

В загальному випадку, звуковий сигнал являють собою суму певної постійної складової ( $f_0 = 0$ ) і довільного (в межі - нескінченного) числа гармонійних складових з довільними значеннями амплітуд  $A_n$  і фаз  $\varphi_n$ , з частотами, кратними несучій частоті  $f_p$ . Іншими словами, на періоді фундаментальної частоти  $f_p$ , яка дорівнює або кратна менша мінімальної частоти гармоніки, укладається кратне число періодів всіх гармонік, що і створює періодичність повторення сигналу, що описується формулою:

$$s(t) = \sum_{n=0}^N A_n \cdot \sin(2\omega f_n t + \varphi_n) = \sum_{n=0}^N A_n \cdot \sin(2\omega B_n f_p t + \varphi_n)$$

На Рис. 7 представлено графічне зображення звукової хвилі, яку відтворює гітарна струна, та описує наведена математична формула.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

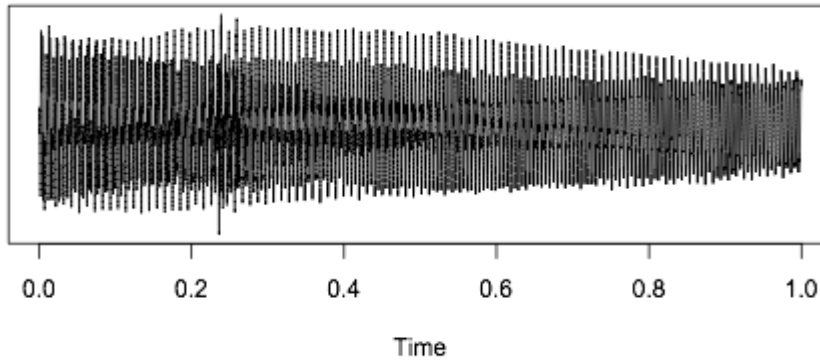


Рисунок 6. Графічне представлення звукової хвилі

Щоб виділити частоти, приховані в цьому звуці, звернемося за допомогою до математики і скористаємося швидким перетворенням Фур'є.

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Його алгоритм групує доданки з однаковими множниками, істотно скорочуючи число необхідних операцій множення. В результаті швидкодія швидкого перетворення Фур'є може у безліч разів перевершувати швидкодію стандартного алгоритму (залежить від N). При цьому слід підкреслити, що даний алгоритм точніше, в порівнянні зі стандартним перетворенням Фур'є, так як скорочення числа операцій зменшує помилки округлення. На Рис. 7 приведено зображення спектру звукового сигналу аналоговий вигляд якого зображено на Рис.6.

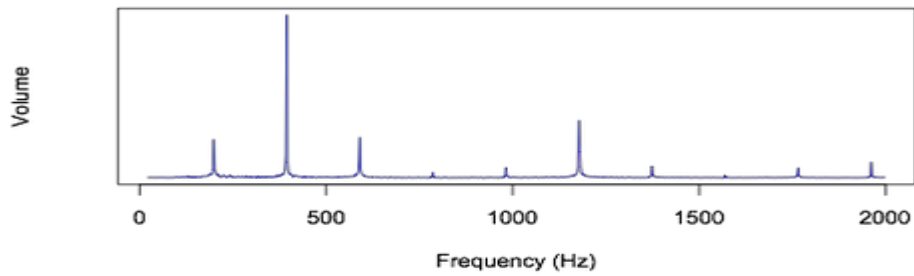


Рисунок 7. Спектр звукової хвилі.

З Рис. 7, що не дивлячись на те, що звуковий сигнал полігармонічний і відповідно має складний спектр, однак нота (частота), що відтворюється на музичному інструменті в спектрі має найбільшу амплітуду. Як правило є також певна кількість гармонік в сигналі, тобто частот, кратних основній (подвоєна, потроєна, тощо). Для підвищення точності визначення частоти необхідно збільшити кількість взятих відліків. Такий спосіб добре підходить для гітарних тюнерів, оскільки нота, як правило, звучить одна і досить довго.

Підсумовуючи все вище написане, для налаштування гітари необхідно зняти з мікрофона звуковий потік, взяти від нього Фур'є-образ, знайти частоту з найбільшою амплітудою, провести порівняння відповідність частоти і ноти. Отже в пристрої, що розробляється ми будемо проводити порівняння спектру отриманого сигналу з еталонним.

### 1.3.Звукознімачі

Виходячи з описаного в пункті 1.2 важливим елементом пристрою, що розробляється є звукознімач. Звукознімач - пристрій, що перетворює енергію коливання струн в електричний струм. Вихідний сигнал від звукознімачів після обробки через різні звукові ефекти подається на підсилювач, а від нього вже на акустичні системи.

Звукознімачі для гітари поділяються на два основних види:

Пасивний пристрій - передає сигнал без його попереднього посилення.

Головна перевага: природний звук, відсутність додаткового джерела живлення.  
Недоліки: залежність від комутованої лінії і можливостей підключення апаратури.

Активний пристрій - більш складний, здатний посилювати сигнал. Основна перевага цих пристроїв для класичної гітари полягає в повній незалежності від приймаючого обладнання і довжини лінії, що комутується. Звукознімачі даної категорії відчутно знижують рівень сторонніх шумів, через що сигнал виходить більш якісний і чіткий. Зрозуміло, такі пристосування для бас / електрогітари вимагають додаткового джерела живлення.

За принципом дії звукознімачі діляться на п'єзоелектричні і електромагнітні [4].

Магнітні звукознімачі, не що інше, як магніт з котушкою індуктивності. При коливанні струн в постійному магнітному полі, наявність якого обумовлює магніт в звукознімачі, виникає електрорушійна сила (ЕРС). Звукознімач передає отриманий електричний сигнал. Конструкція може бути різною, але спосіб кріплення у всіх однаковий - за допомогою спеціальних затискачів вони закріплюються в розетці гітари. Магнітні звукознімачі працюють тільки зі струнами зі сталі. Конструктивно виготовляють з однією або двома котушками. Давачі з однією котушкою чутливі до магнітних полів, створюваних трансформаторами, лампами денного світла та іншими джерелами завад, що призводить до виникнення сторонніх шумів. У давачів з двома котушками використовуються дві котушки, підключені спеціально так, щоб ці шуми зводили до мінімуму. Оскільки котушки електрично знаходяться в протифазні, то синфазних сигнали (ті, які наводяться в обох котушках з однаковою амплітудою) взаємівіднімаються.

Розташування магнітів в датчиках буває різним. У деяких типах магніти у формі бруска або циліндра вставлені прямо в котушку. В інших типах магніти знаходяться під котушками, а в котушках знаходяться сердечники з м'якого заліза. У багатьох випадках ці сердечники мають різьблення, завдяки чому можна

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

компенсувати різницю в рівнях висоти струн. На деяких датчиках є металеві кришки для екранування і захисту котушок; на інших є пластмасове покриття, яке не забезпечує екранування; а бувають і такі датчики, де провід захищений тільки ізоляційною стрічкою.

Магнітне поле проходить через котушки і струни. Коли струни знаходяться в спокої, потік магнітного поля, що проходить через котушки, постійний. Коли струна коливається, потік змінюється, через що в котушці створюється напруга. Коливається струна створює змінний струм, який має ту ж частоту, з якою вібрує струна, і напруга пропорційно швидкості коливання струни (а не амплітуді). Крім того, напруга залежить від товщини і провідникових властивостей струни, від магнітного поля і від відстані між магнітним полюсом і струною.

При більш складній фізиці перетворення механічної енергії безпосередньо в електричну, пьезоелектричні звукознімачі є більш простими та стабільними по своїм характеристикам пристроями. Конструктивно пьезоелектричні звукознімачі - це пьезокристал з обкладинками з провідника, тому його властивості повністю відповідають заздалегідь визначені фізичними властивостями цього кристала.

Еквівалентною схемою пьезоелектричного звукознімача є джерело напруги з послідовно включеної ємністю. Причому ця ємність має досить малу величину 100-500 пФ. Тому, щоб отримати від пьезоелектричного звукознімача будь-який звук взагалі, його необхідно навантажити на повторювач напруги з дуже великим (3-10 МОм) вхідним опором, щоб зменшити вплив ємності на передачу низьких частот. Тому разом з пьезоелектричним звукознімачем, як правило, завжди встановлюється активна електроніка: еквалайзер або буферний каскад.

Пьезоелектричний звукознімаа не утворює фільтрів НЧ другого порядку, він не схильний до шумів і наведень, оскільки повністю відсутня індуктивність, його ємність дуже мала, а сам датчик є електромеханічним. Це означає, що коливання струни перетворюються в електричні не за допомогою зміни будь-яких

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

електромагнітних параметрів системи: струна-датчик (ємність, магнітний потік і т.п.), а безпосередньо пьезокристал має властивість при поданні до нього механічних сил генерувати напругу, що з'являється на обкладинках цього кристала. Таким чином коливання струни знімаються максимально повною мірою, а саме як поздовжні так і поперечні коливання (за двома напрямками в просторі), а також коливання дерев'яного корпусу гітари, на відміну від індуктивного датчика, який знімає тільки поперечні коливання струн, що перпендикулярні магнітної осі котушки. П'єзодатчики працюють зі струнами будь-якого типу.

Пьезоелектричні звукознімачі бувають в основному двох типів:

у вигляді стрижня, який кладеться під поріжок і знімає в першу чергу коливання струн;

у вигляді кружечків різного розміру (площі), які прикріплюються до корпусу гітари і знімають в першу чергу коливання деки.

В нашому пристрої будемо використовувати пьезоелектричні звукознімачі для отримання аналогового сигналу звука.

#### 1.4. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз показав, що не дивлячись на різноманітні гітарні тюнерів жодна з моделей не дозволяю повністю автоматизувати процес налаштування гітари.
2. Для розробки гітарного тюнера доцільно використовувати акустичні методи вимірювання звукових сигнал. Інформативним параметром виступаю спектр сигналу, що аналізується.
3. В якості пристрою для отримання аналогового звукового сигналу доцільно використовувати пьезоелектричні звукознімачі.
4. Отримання спектру звукового сигналу для послідуочого порівняння з еталоном доцільно проводити з використанням швидкого перетворення Фур'є.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



## Розділ II.

### 2. Електронна частина пристрою

#### 2.1. Розробка структурної схеми пристрою

Структурна схема автоматизованого приладу для налаштування гітари зображена на рисунку 8.

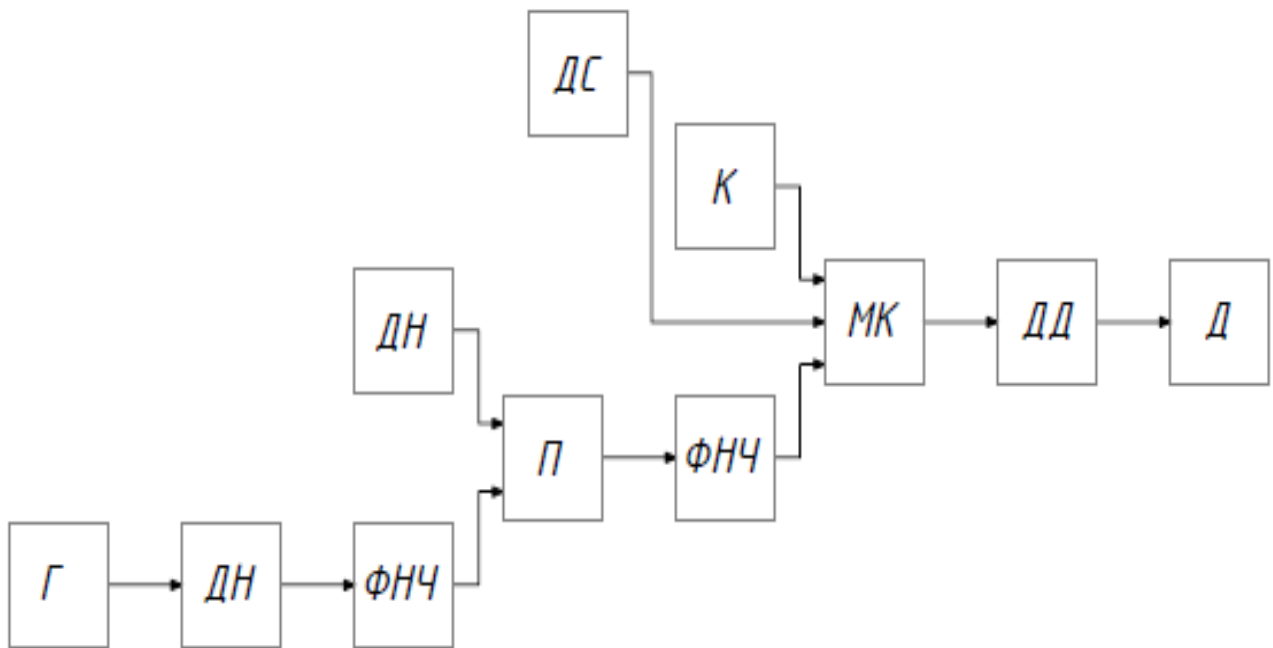


Рисунок 8. Структурна схема приладу.

До складу схеми входять такі елементи:

- Г – гітара (джерело сигналу);
- ДН – дільник напруги;
- ФНЧ – фільтр низьких частот;
- П – підсилювач;
- ДС – дисплей;
- К – кнопка (служить для вибору налаштовуваної струни);
- МК – мікроконтролер;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.11.00.000 ПЗ**

Арк.

20

- ДД – драйвер двигуна;
- Д – електродвигун.

### 2.1.1. Опис структурної схеми приладу

Принцип роботи приладу для автоматизованого налаштування гітари полягає в тому, що отриманий від гітари звуковий сигнал в аналоговому вигляді через дільник напруги потрапляє на фільтр низьких частот. Оскільки тюнер дискретизує сигнал з частотою 5 кГц, то дана схема виключає частоти вище 2.5 кГц. Наступним не менш важливим елементом являється підсилювач. Вхідний сигнал, поступаючий з гітари дуже малий (близько 0 В), це означає що даний сигнал може містити від'ємні напруги, котрі мікропроцесор зчитати не зможе. Тому наша схема повинна забезпечити щоб сигнал, що поступає на Arduino, був в межах від 0 до 3.3 В.

Також до складу схеми входять дисплей, виконаний з 6 світлодіодів, та кнопка, за допомогою якої користувач зможе вибирати яку струну налаштовувати. Кожний з 6 світлодіодів, з яких складається дисплей відповідає за номер струни, котру налаштовує користувач відповідно.

Після обробки сигналу мікроконтролером, оцифрований сигнал поступає через драйвер, принцип роботи якого буде описано далі, на двигун, за допомогою якого і відбувається обертання гітарного кілка.

### 2.2. Підбір мікроконтролера

В даному проекті ми будемо використовувати мікроконтролер Arduino Due, який зображено на рисунку 9.

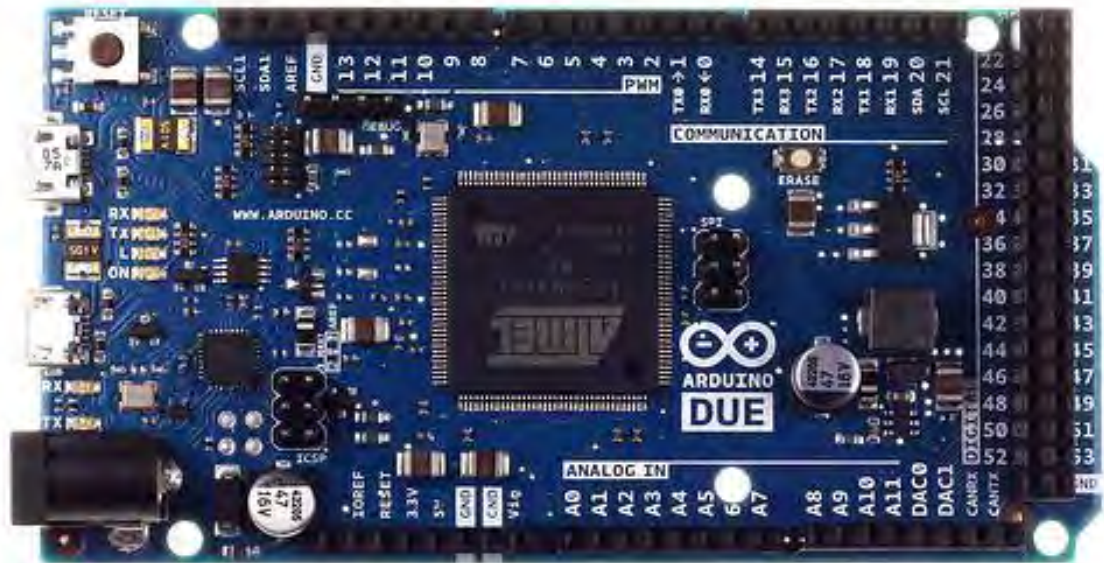


Рисунок 9. Arduino Due

Загальні відомості:

Arduino Due - це пристрій на основі мікропроцесора Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Це перша плата Ардуіно на базі 32-розрядного мікроконтролера ARM. До її складу входять 54 цифрових виводи (з яких 12 можуть працювати в якості ШІМ-виходів), 12 аналогових входів, 4 UART (апаратних приймача, що здійснюють послідовну передачу даних), генератор тактової частоти на 84 МГц, USB з підтримкою технології OTG, 2 ЦАП (цифро-аналогових перетворювача), 2 TWI, роз'єм живлення, роз'єм SPI, роз'єм JTAG, кнопка скидання і кнопка очищення пам'яті.

Відмінність від інших плат Ардуіно, робоча напруга Arduino Due становить +3.3. Відповідно, максимальна напруга, яку можуть витримати його виводи, так само 3.3В. Подача на вивід більшої напруги (наприклад, 5В) може привести до виходу плати з ладу.

До складу пристрою входить все необхідне для забезпечення роботи мікроконтролера; для початку роботи досить просто подати живлення від AC / DC-адаптера або батарейки, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-

кабелю. Arduino Due сумісний з усіма платами розширення, що працюють від 3.3В, і відповідає вимогам розпіновки:

- виводи SDA і SCL (TWI) розташовані біля виводів AREF;
- присутній вивід IOREF, що дозволяє платам розширення підлаштуватися під робочу напругу Ардуіно. Завдяки цьому, плати розширення можуть бути сумісні як з 3.3В - Ардуіно (подібними Due), так і з 5В-Ардуіно на основі мікроконтролерів AVR;
- Передбачений вільний вивід, зарезервований для майбутніх цілей.
- Живлення:
- Arduino Due може живиться від USB або від зовнішнього джерела живлення - тип джерела вибирається автоматично.
- В якості зовнішнього джерела живлення (не USB) може використовуватися мережевий АС / DC-адаптер або акумулятор/батарея. Штекер адаптера (діаметр - 2.1мм, центральний контакт - позитивний) необхідно вставити у відповідний роз'єм живлення на платі. У разі живлення від акумулятора / батареї, її проводу необхідно під'єднати до виводів Gnd і Vin роз'єму POWER.
- Напруга зовнішнього джерела живлення може бути в межах від 6 до 20 В. Однак, зменшення напруги живлення нижче 7В призводить до зменшення напруги на виводі 5V, що може стати причиною нестабільної роботи пристрою. Використання напруги більше 12В може призводити до перегріву стабілізатора напруги і виходу плати з ладу. З огляду на це, рекомендується використовувати джерело живлення з напругою в діапазоні від 7 до 12В.

Характеристики мікроконтролера:

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1. Характеристики Arduino Due

Мікроконтролер	AT91SAM3X8E
Робоча напруга	3.3 В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12 В
Напруга живлення (гранична)	6-16 В
Цифрові виводи	54 (з яких 12 можуть працювати в якості ШІМ-виходів)
Аналогові входи	12
Аналогові виходи	2 (ЦАП)
Сумарний вихідний струм всіх виводів (максимальний)	130 мА
Максимальний вихідний струм виводу 3.3 В	800 мА
Максимальний вихідний струм виводу 5 В	800 мА
Flash-пам'ять	512 КБ
SRAM	96 КБ
Тактова частота	84 МГц

Нижче перераховані виводи живлення, розташовані на платі:

- **VIN** Напруга, що надходить в Arduino безпосередньо від зовнішнього джерела живлення (не пов'язане з 5В від USB або іншим стабілізованою напругою). Через цей вивід можна як подавати зовнішнє живлення, так і споживати струм, коли пристрій живиться від зовнішнього адаптера.
- **5V** На вивід надходить напруга 5В від стабілізатора напруги на платі, в незалежності від того, як живиться пристрій: від адаптера (7 - 12В), від USB (5В) або через вивід VIN (7 - 12В). Живити пристрій через виводи

5V або 3V3 не рекомендується, оскільки в цьому випадку не використовується стабілізатор напруги, що може привести до виходу плати з ладу.

- **3V3** 3.3В, що надходять від стабілізатора напруги на платі. Даний стабілізатор також забезпечує живлення мікроконтролера SAM3X. Максимальний струм, споживаний від цього висновку, становить 800 мА.
- **GND** Виводи землі.
- **IOREF** Цей вивід надає платам розширення інформацію про робочу напругу мікроконтролера Ардуіно. Залежно від напруги, зчитаної з виводу IOREF, плата розширення може переключитися на відповідне джерело живлення або задіяти перетворювачі рівнів, що дозволить їй працювати як з 5В, так і з 3.3В-пристроями.

### 2.3. Підбір двигуна

Для даного проекту нам потрібен двигун з високим крутним моментом, малим кутом повороту та низькою частотою обертання вихідного валу. Як найкраще нам підійде кроковий двигун серії АК.

Згідно найбільш популярному визначенню, кроковий двигун - це машина, яка перетворює електричну енергію (її вона отримує з мережі) в механічну здійснюючи дискретні (увага, не безупинні, це важливо) переміщення ротора. Причому після кожного такого дії положення динамічної частини фіксується.

Всі окремі пересування однакового розміру, і разом вони формують повний оборот (цикл). Тому, підрахувавши їх кількість, можна без затруднень і з високою точністю обчислити абсолютну позицію інструменту. Загальна їх кількість, до речі, залежить від ряду моментів: характер підключення, вигляд пристрою, спосіб завдання команд і інших факторів.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Принцип роботи крокового двигуна:

На клеми подається напруга, завдяки якій спеціальні щітки починають обертатися.

Під впливом імпульсів, що входять, ротор встановлюється в початкове положення, а потім переміщається під одним і тим же кутом.

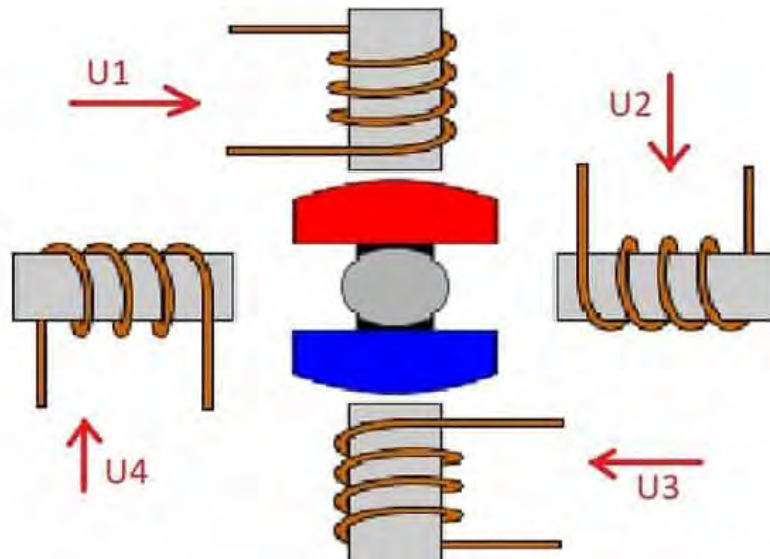


Рисунок 10. Конструкція крокового двигуна.

Мікроконтролер (в більшості випадків, хоча можлива й інша зовнішній ланцюг управління) пускає в хід зубчасті електромагніти. Той з них, до якого прикладають енергію, притягує шестерню, забезпечуючи тим самим поворот валу.

Решта магнітів за замовчуванням вирівняні щодо ведучого, тому вони зсуваються разом з ним у напрямку до чергової деталі. Шестерня обертається за рахунок переключення електромагнітів по порядку - від головного до наступного і так далі. При цьому вона вирівнюється щодо попереднього колеса, що завершує цикл. Крок крокового двигуна - це описаний вище алгоритм, і він повторюється необхідну для виконання технологічної операції кількість разів. Уявлення про зовнішній вигляд і характер функціонування доповнить наступний малюнок:

З нього зрозуміло, що до статора відносяться чотири обмотки, розташовані хрестоподібно, тобто під кутом в 90 градусів один до одного. Звідси зрозуміло, що і дискретне рух буде здійснюватися на таку ж величину градусів. Якщо напруга подається по черзі -  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  і так далі - ротор зробить повний оберт, а потім піде на друге коло, тобто почне обертатися - до тих пір, поки його не буде потрібно зупинити. Ну а, щоб змінити напрямок його руху, досить задіяти витки в зворотному порядку.

Режими роботи мотора визначають 2 характеристики: величина кроку і зусилля, що прикладається для переміщення. Варіювати їх можна, змінюючи спосіб підключення, будову обмоток або валу.

Відповідно, класифікація приводів здійснюється за такими параметрами:

За конструкцією ротора - його будова грає ключову роль, так як від нього залежить специфіка взаємодії з електромагнітним полем статора.

По виду (числу обмоток) - зі зростанням їх кількості обертання стає більш плавним, але одночасно збільшується і вартість силового агрегату, хоча крутний момент залишається незмінним. Можуть бути уні і біполярними, в першому випадку підключаються з відгалуженням від середньої точки, у другому - через 4 виходи.

### 2.3.1. Розрахунок двигуна

З конструктивних міркувань призначаємо крутний момент вихідного валу двигуна:

$$M_{вих} = 5 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

Частоту обертання обираємо:

$$n = 10 \left( \frac{об}{хв} \right);$$

Частота обертання вихідного валу буде дорівнювати:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 10}{30} = 1.047;$$

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27



Вихідна та вхідна потужності будуть відповідно дорівнювати:

$$N_{вих} = M_{вих} \cdot \omega_{вих} = 5 \cdot 1.047 = 5.236 \text{ (Вт)};$$

$$N_{вх} = N_{вих} \cdot 1.4 = 5.236 \cdot 1.4 = 7.33 \text{ (Вт)}.$$

Обираємо двигун серії A50K-M566(W)-G10.

Відмінні особливості даного двигуна:

- невеликі розміри;
- мала маса;
- висока точність;
- високий крутний момент;
- швидкодія;
- допустима швидкість: 0-180 об/хв.

В ході виконання проекту було побудовано 3D модель даного двигуна в середовищі SolidWorks, яку зображено на рисунку 11.

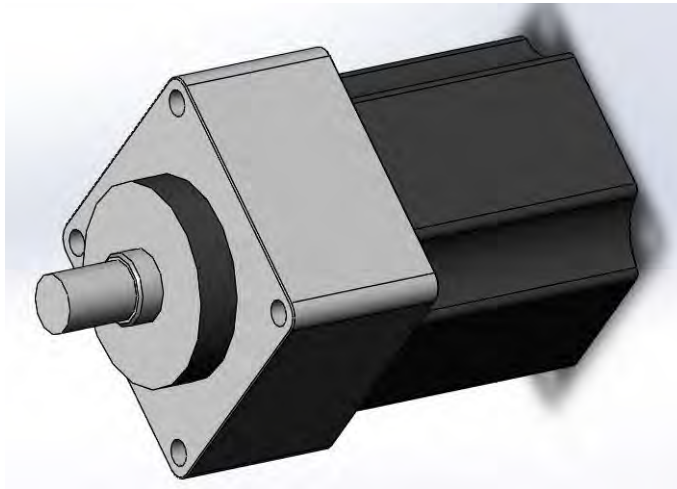


Рисунок 11. 3D модель двигуна A50K-M566(W)-G10.

#### 2.4. Підбір драйвера двигуна

Для управління двигунами необхідно пристрій, який би перетворював сигнали малої потужності в струми, достатні для управління моторами. Такий пристрій називають драйвером двигунів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.11.00.000 ПЗ**

Арк.

28

Існує досить багато самих різноманітних схем для управління електродвигунами. Вони розрізняються як потужністю, так і елементної базою, на основі якої вони виконані.

Ми зупинимося на найпростішому драйвері управління двигунами, виконаному у вигляді повністю готової до роботи мікросхеми. Ця мікросхема називається L293D (рисунок 12) і є однією з найпоширеніших мікросхем, призначених для цієї мети.

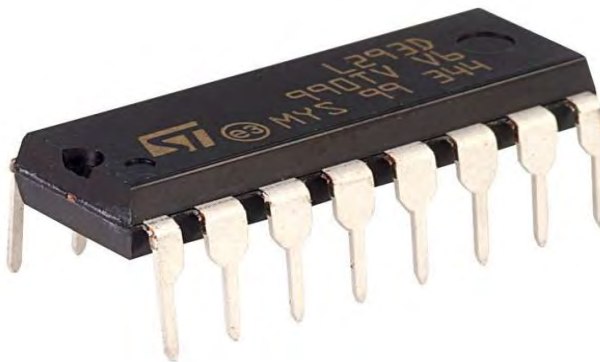


Рисунок 12. Мікросхема L293D

L293D містить відразу два драйвера для управління електродвигунами невеликої потужності (чотири незалежні канали, об'єднаних в дві пари). Має дві пари входів для керуючих сигнали і дві пари виходів для підключення електромоторів. Крім того, у L293D є два входи для включення кожного з драйверів. Ці входи використовуються для управління швидкістю обертання електромоторів за допомогою широтно-модульованого сигналу (ШІМ).

L293D забезпечує поділ електроживлення для мікросхеми і для керованих нею двигунів, що дозволяє підключити електродвигуни з великим напругою живлення, ніж у мікросхеми. Поділ електроживлення мікросхем і електродвигунів може бути

також необхідно для зменшення перешкод, викликаних кидками напруги, пов'язаними з роботою моторів.

Принцип роботи кожного з драйверів, що входять до складу мікросхеми, ідентичний, тому розглянемо принцип роботи одного з них (рисунок 13).

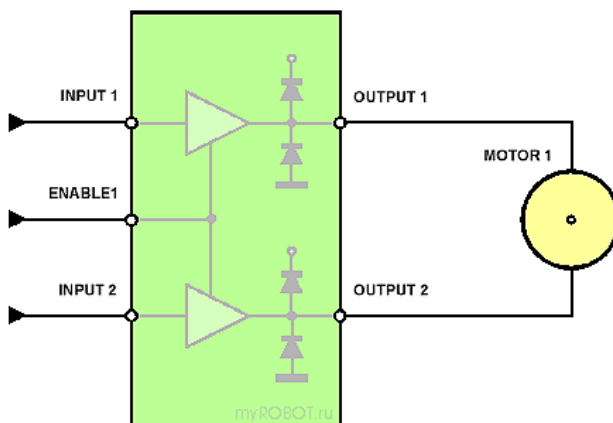


Рисунок 13. Принцип роботи драйвера.

До виходів OUTPUT1 і OUTPUT2 підключимо електродвигун MOTOR1.

На вхід ENABLE1, що включає драйвер, подамо сигнал (з'єднаємо з позитивним полюсом джерела живлення + 5V). Якщо при цьому на входи INPUT1 і INPUT2 не подаються сигнали, то мотор обертається не буде.

Якщо вхід INPUT1 з'єднати з позитивним полюсом джерела живлення, а вхід INPUT2 - з негативним, то мотор почне обертатися.

Тепер спробуємо з'єднати вхід INPUT1 з негативним полюсом джерела живлення, а вхід INPUT2 - з позитивним. Мотор почне обертатися в інший бік.

Спробуємо подати сигнали одного рівня відразу на обидва керуючих входу INPUT1 і INPUT2 (з'єднати обидва входи з позитивним полюсом джерела живлення або з негативним) - мотор обертається не буде.

Якщо ми приберемо сигнал з входу ENABLE1, то при будь-яких варіантах наявності сигналів на входах INPUT1 і INPUT2 мотор обертається не буде.

Уявити краще принцип роботи драйвера двигуна можна, розглянувши наступну таблицю:

Таблиця 2. Принцип роботи драйвера.

ENABLE 1	INPUT 1	INPUT 2	OUTPUT 1	OUTPUT 2
1	0	0	0	0
1	1	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Тепер розглянемо призначення виводів мікросхеми L293D.

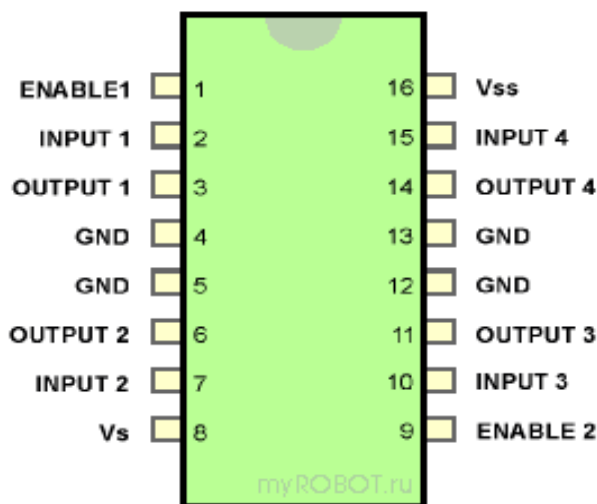


Рисунок 14. Виводи мікросхеми L293D.

Входи ENABLE1 і ENABLE2 відповідають за включення кожного з драйверів, що входять до складу мікросхеми.

Входи INPUT1 і INPUT2 управляють двигуном, підключеним до виходів OUTPUT1 і OUTPUT2.

Входи INPUT3 і INPUT4 управляють двигуном, підключеним до виходів OUTPUT3 і OUTPUT4.

Контакт  $V_s$  з'єднують з позитивним полюсом джерела електроживлення двигунів або просто з позитивним полюсом живлення, якщо живлення схеми і двигунів єдине. Простіше кажучи, цей контакт відповідає за живлення електродвигунів.

Контакт  $V_{ss}$  з'єднують з позитивним полюсом джерела живлення. Цей контакт забезпечує живлення самої мікросхеми.

Чотири контакти GND з'єднують з "землею" (загальним проводом або негативним полюсом джерела живлення). Крім того, за допомогою цих контактів зазвичай забезпечують тепловідвід від мікросхеми, тому їх найкраще розпаювати на досить широку контактну площадку.

Характеристики мікросхеми L293D:

Таблиця 3. Характеристики мікросхеми L293D.

Напруга живлення двигунів ( $V_s$ )	4.5-36 В
Напруга живлення мікросхеми ( $V_{ss}$ )	5 В
Допустимий струм навантаження	600 мА (на кожний канал)
Максимальний струм на виході	1.2 А (на кожний канал)
Логічний «0» вхідної напруги	до 1.5 В
Логічна «1» вхідної напруги	2.3-6 В
Швидкість перемикання	до 5 кГц

## 2.5. Конструкція дисплею

Так як налаштування гітари відбувається по одній струні, потрібен дисплей, на котрому буде відображатися яку саме струну потрібно налаштувати.

В ході виконання проекту було розроблено такий дисплей у вигляді набору з 6 світлодіодів та струмообмежуючого резистора, схема такого дисплею зображена на рисунку 15.

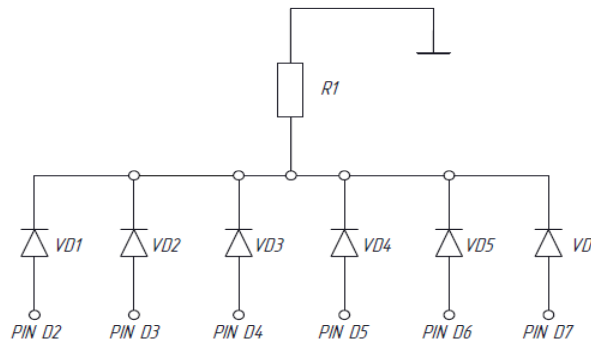


Рисунок 15. Схема дисплею.

Діоди VD1, VD2, VD3, VD4, VD5, VD6 підключені до виводів мікропроцесора Arduino Due.

## 2.6. Конструкція кнопки

Для перемикання налаштовуваної струни потрібна кнопка.

Схема даної кнопки представлена на рисунку 16.

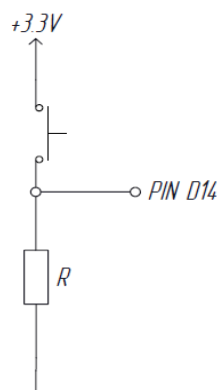


Рисунок 16. Схема кнопки.

## 2.7. Розрахунок трансімпедансного підсилювача

При розробці приладу для автоматизованого налаштування гітари ми використали трансімпедансний підсилювач.

Трансімпедансний підсилювач – підсилювач, в якому коефіцієнт передачі виражається як відношення напруги на виході до струму на вході, виходячи з цього, він має розмірність опору та виражається в Омах. Даний підсилювач зазвичай реалізують на базі стандартного операційного підсилювача.

До трансімпедансних підсилювачів відносять операційні підсилювачі (ОП), що мають струмовий зворотній зв'язок.

Використовувати термін «трансімпедансний підсилювач» треба обережно, потрібно розуміти відмінність між підсилювачем, що має струмовий зворотній зв'язок (та особливою архітектурою), та спеціальної схеми на «стандартному» операційному підсилювачі, що має зворотній зв'язок по напрузі, яка працює так само як трансімпедансний підсилювач.

Схема трансімпедансного підсилювача зображена на рисунку 17.

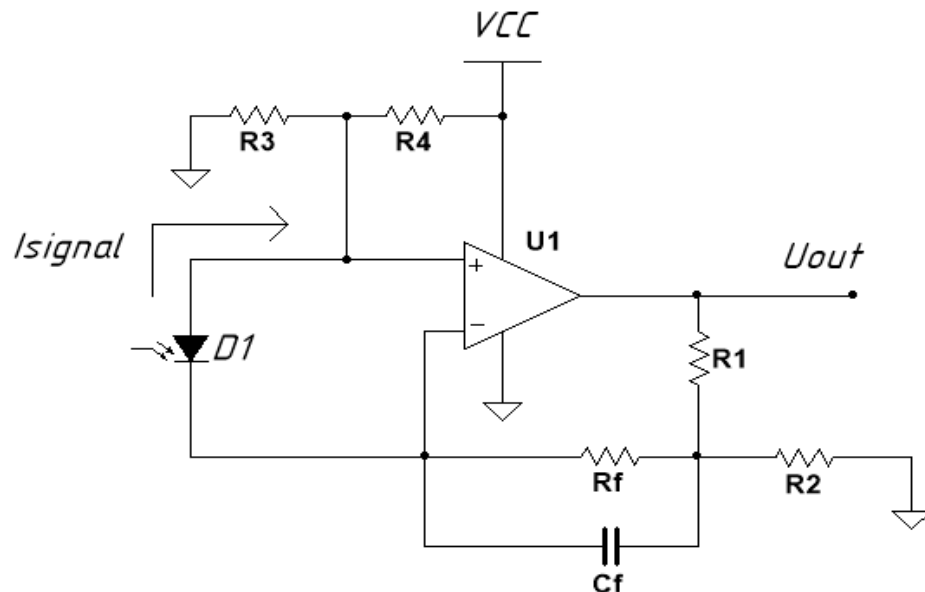


Рисунок 17. Трансімпедансний підсилювач.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

В тому випадку, коли на вхід операційного підсилювача зі зворотнім зв'язком по напрузі під'єднано джерело струму, як наприклад фотодіод (у цьому випадку до зворотнього зв'язку вмикається резистор, що має великий опір), операційний підсилювач також можна вважати трансїмпедансним підсилювачем.

Для того що стабілізувати схему, паралельно до цього резистору потрібно поставити конденсатор, котрий має досить високу ємність.

Щоб добитися стабільної роботи трансїмпедансного підсилювача необхідно дотримуватися певних ключових моментів:

- операційний підсилювач має бути з високим вхідним опором;
- по тій причині, що дана схема є надзвичайно чутливою до високочастотних завад, її необхідно розмістити на платі таким чином, щоб вона була віддалена від інших компонентів або за можливості екранована;
- В тому випадку, якщо операційний підсилювач має деякий здвиг по напрузі, його необхідно компенсувати, тобто забезпечити подачу позитивної напруги до неінвертованого входу операційного підсилювача.

З метою розрахунку трансїмпедансного підсилювача ми використаємо наступну формулу:

$$U_{out} = I_{signal} \cdot R_f \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + U_{os} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad (1)$$

де  $U_{os}$  це значення опорної напруги,  $I_{signal}$  - струм, котрий проходить через резистор зворотнього зв'язку.

Щоб розрахувати ємність зворотнього зв'язку необхідно використати наступну формулу:



$$C_f \leq \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_f \cdot f_p} \quad (2)$$

де  $f_p$  - це частота пропускної здатності ланцюга.

Потрібна пропускна здатність підсилення даного підсилювача з метою стабілізації ланцюга, розраховується за допомогою наступної формули:

$$GBW \leq \frac{C_i + C_f}{2 \cdot \pi \cdot R_f \cdot C_f^2} \quad (3)$$

де:

$$C_i = C_s + C_d + C_{cm} \quad (4)$$

де  $C_s$  - вхідна ємність джерела,  $C_d$  - диференціальна вхідна ємність підсилювача,  $C_{cm}$  - загальна вхідна ємність інвертованого входу.

Задля встановлення опорної напруги ми будемо користуватися напругою операційного підсилювача, котра підключена через дільник напруги, що має високий вхідний опір.

Резистори R3 та R4 – це елементи дільника напруги, котрі розраховуються за допомогою наступної формули:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (5)$$

Щоб розрахувати підсилювач ми одразу після моделювання взяли проміжок струму, в межах котрого через резистор буде проходити струм, і котрий ми переведемо в напругу і підсилимо. По тій причині, що наше моделювання є приблизним, ми встановимо резистор з регулюванням, за допомогою якого ми

матимемо можливість змінювати коефіцієнт підсилення а також налаштовувати наш перетворювач. Після чого розраховуємо  $R_1$ , використовуючи наступну формулу:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot U_{out} - R_2 \cdot U_{os} + I \cdot R_2 \cdot R_f}{U_{os} - I \cdot R_f} \quad (6)$$

## 2.8. Висновки до розділу

В ході виконання проекту було розроблено структурну схему. Враховуючи поставлене завдання, з урахуванням всіх переваг та недоліків було підібрано та побудовано 3D модель крокового двигуна, а також підібрано драйвер, котрий надасть можливість керувати даним двигуном. Також був розроблений дисплей та проведений розрахунок елементної бази трансїмпедансного підсилювача.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						37
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

## Розділ Ш.

### 3. Конструкторська частина

#### 3.1. Конструкція гітарного кілка

Кілок – деталь струнних музичних елементів, у вигляді невеликого стрижня для утримання і натягу струни (рисунок 18).

При обертанні кілка струна або натягується, або послаблюється, внаслідок чого звук стає вищим або нижчим.



Рисунок 18. Гітарний кілок.

В основі гітарного кілка лежить зубчато-гвинтова передача. Ми крутимо за ручку, прикріплену до гвинта, а гвинт в свою чергу передає крутний момент на шестерню. До якої закріплений шток - на нього намотується струна.

Як ви бачите, зуби шестірні розташовані під кутом, щоб вони могли ковзати по нарізці гвинта. Шестерні зазвичай виготовляють з антифрикційних матеріалів, найпопулярнішими з яких є латунь або бронза.

Сам гвинт жорстко закріплений до корпусу кілка. Тому якщо ви спробуєте зробити зворотну операцію, тобто повернути гвинт поворотом шестерні - у вас

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.11.00.000 ПЗ**

Арк.

38

нічого не вийде. Взагалі, це властивість таких передач: в зворотному напрямку черв'ячна передача працювати не буде.



Рисунок 19. Черв'ячна передача.

Щоб під впливом тиску шестерні він не зламався, по-перше їх роблять зі сталі, по-друге шестерня влаштована так, що щільно облягає витки нарізки гвинта, розподіляючи рівномірно навантаження.

Ще раз, фізичний зміст: ця передача передає крутний момент тільки в одну сторону: від гвинта до шестерні. І навпаки - не працює.

### 3.2. Основні характеристики кілків

**Передаточне відношення:** показує, скільки поворотів ручки кілка необхідно, щоб шток зробив один поворот навколо своєї осі. З точки зору точності настройки інструменту - чим більше, тим краще. Але якщо врахувати, що воно варіюється від 1:12 - на Шперцель (чим керувалися американці, встановлюючи таке маленьке передаточне відношення?) до 1:21 на Гото, стає зрозуміло - щоб намотати 2 витка на останні треба повернути ручку кілка в 2 рази більше (42 рази проти 24). Однак в

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

**ПК61.11.00.000 ПЗ**

Арк.

39

останньому випадку ви чітко потрапите в ноту! А на перших - можете довго її ловити.

**Прямі або реверсивні:** практично - ця характеристика говорить про те, з якого боку головки грифа кілок призначений для установки. Все залежить від нахилу зубів на шестерні і виду нарізки гвинта.

Точніше справа йде так: нахил зубів і нарізка гвинта що у прямих, що у реверсивних кілків - однакова! А ось розташування ручки, за яку ми крутимо, - немає!

І якщо подивитися на кілки ззаду, то стає видно, що в першому випадку ручка закріплена зліва від гвинта, а в другому випадку - справа.

**Наявність локового механізму:** локовий механізм - це замок, який фіксує струну в штоку.

Взагалі - дуже зручна річ! Всі ми чули це побите «підвищує стабільність ладу». Давайте розберемося - чому?

А справа в тому, що струна має властивість прослизати під натягом.

Щоб цього не було на кілці без локов механізму ми або робимо навколо штока більша кількість витків (2-3), або наметовому спеціальним чином, щоб струна сама себе затискала. Однак все це добре працює, поки ми не послабимо або не збільшить натяг струн! Наприклад за допомогою тремоло, тоді під впливом навантаження (або через її зниження) струна починає знову ковзати навколо штока. Коли ж вона жорстко зафіксована - такої проблеми немає! А крім того, на кілках з локовим механізмом і міняти струни набагато швидше! Економиться час на намотування струни навколо штока, також її затиск спеціальним чином: просто 7-15 разів повернули ручку, послабили замок, зняли стару струну, поставили нову, затиснули локовим механізмом, 5-10 раз повернули, щоб налаштувати. Мінуси? Коштують локові кілки в 3-5 разів дорожче звичайних.

На цьому основні характеристики кілків закінчилися і далі вже йдуть нюанси:

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- тип локового механізму (впливає на зручність використання);
- вид корпусу кілка і спосіб кріплення гвинта до корпусу (в цілому впливає на якість кілочка і довговічність конструкції);
- Швидке кріплення кілка на гітару або бас. (Грубо кажучи - кількість і розташування отворів під саморізи, яким кілок пригвинчується до грифу);
- діаметр отвору під кілок в грифі.

### 3.3. Конструкція роз'єму для підключення гітари

Роз'єм TS (моно джек) - поширений роз'єм для передачі аудіосигналу.



Рисунок 20. Штекер TS 6.35

Має 2 контакти.

Діаметр становить 6,35 мм, 1/4 дюйма.

При підключенні моно-штекера TS в стереороз'єм TRS середній контакт роз'єму замикається на землю, що може викликати пошкодження виходу електронної апаратури через коротке замикання. У разі входу - корисний сигнал з кільця втрачається.

При підключенні штекера TRS в роз'єм TS середній контакт TRS залишається неподключеним. Це може бути небезпечно для лампового обладнання, однак більшість сучасних пристроїв не чутливі до даної проблеми.

Застосовується:

- стара побутова апаратура, в тому числі навушники;
- професійне музичне обладнання;
- переважна кількість електрогітар, електричних бас-гітар, і інших інструментів зі звукознімачами, а також гітарних педаль ефектів («примочок») і гітарних підсилювачів;
- педальні перемикачі;
- електронні ударні установки;
- мікрофони аматорського рівня (наприклад, для використання з караоке);
- металошукачі;
- роз'єм для підключення синхронізатора в професійних студійних фотографічних спалахах;
- телефонні комутатори.

### 3.4. Розробка конструкції елемента захоплення гітарного кілка

З метою зручного використання приладу для автоматизованого налаштування гітари, було спроектовано та побудовано 3D модель в середовищі розробки SolidWorks елемента, за допомогою якого, буде здійснюватися обертання гітарного кілка.

Конструкція вище згаданого елемента представлена на наступному рисунку:

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						42
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

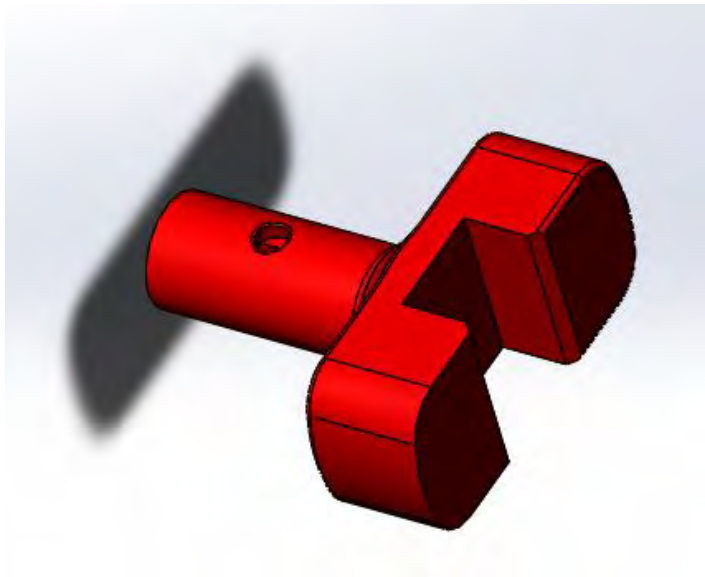


Рисунок 21. Елемент захоплення гітарного кілка

### 3.5. Розробка конструкції корпусу приладу

В ході виконання дипломного проекту було спроектовано та побудовано 3D модель корпусу приладу для автоматизованого налаштування гітари (Рис. 22).

До корпусу будуть поміщені такі елементи приладу:

- драйвер двигуна;
- дисплей;
- кнопка;
- підсилювач;
- ФНЧ, та інші елементи електронної складової приладу;

Корпус буде зроблений з пластику методом лиття або роздрукований за допомогою 3D принтера.



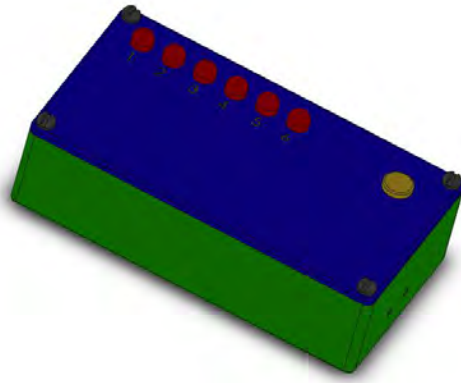


Рисунок 22. Корпус приладу.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						44
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

#### 4. Висновок

В ході виконання дипломного проекту за темою «Прилад для автоматизованого налаштування гітари» був проведений докладний огляд всіх можливих аналогів подібних приладів. Проведено аналіз переваг та недоліків аналогів даного приладу.

Було спроектовано та розроблено прилад, за допомогою якого можливо досить швидко та з високою точністю налаштувати такий музичний інструмент, як гітара.

Подальші наукові дослідження в даному напрямку дозволять не тільки удосконалити вище згаданий прилад, але й знизити собівартість даного приладу, що буде сприяти його поширенню.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						45
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дат</b>		

## 5. Список використаної літератури

1. Все о гитарных тюнерах – Режим доступа: <https://xn--80aahu5bk.xn--j1amh/vse-o-gitarnyx-tyuneraх>
2. Стаття - по електронному створенню і обробці звуку – Режим доступу: <https://www.opennet.ru/base/muzfaq/SOUNDFAQ.TXT.txt.html>
3. «Каневский І.Н., Сальникова Є.Н. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. - Владивосток: Видавництво ДВГТУ, 2007. - 243 с.»
4. Секреты звукоосцилляторов – Режим доступа: [http://guitar.ru/articles/pickup/sound-pickup\\_316.html](http://guitar.ru/articles/pickup/sound-pickup_316.html)
5. «Белокур И .П.Дефектология и неразрушающий контроль.-Киев: Вища шк.,1990.-207с.»
6. «Альошин Н.П., Білий В.Є.,Вопилкин А.Х. та інших. Методи акустичного контролю металів. - М.: Машинобудування, 1989. - 465 з.;»
7. «Акустические методы неразрушающего контроля. – Режим доступа: [https://studref.com/310967/tehnika/akusticheskie\\_metody\\_nerazrushayuscheg\\_o\\_kontrolya](https://studref.com/310967/tehnika/akusticheskie_metody_nerazrushayuscheg_o_kontrolya)»
8. «Єрмолов І.Н., Альошин Н.П., Потапов А. І.Неразрушающий контроль. У 5 кн.Кн. 2.Акустические методы контролю:Практ. посібник. - М.:Висш шк., 1991 — 283 з.;»
9. «Трансїмпедансний підсилювач. – Режим доступа: [https://www.wikiwand.com/uk/Трансїмпедансний\\_підсилювач](https://www.wikiwand.com/uk/Трансїмпедансний_підсилювач)».
10. «Драйвер двигателей L293D. – Режим доступа: [https://myrobot.ru/stepbystep/el\\_driver.php](https://myrobot.ru/stepbystep/el_driver.php)».
11. «Шаговый двигатель. – Режим доступа: <https://stanokcnc.ru/articles/shagovyuy-dvigatel-chto-eto-takoe-i-kak-on-rabotaet-printsip-raboty-i-ustroystvo/>».

12. «Неразрушающий контроль. Виды и методы проведения. – Режим доступа: <https://www.serconsrus.ru/services/nerazrushayushchiy-kontrol/>».
13. «Устройство гитарного колка. – Режим доступа: <http://jablog.ru/blog/workshop/4084.html>».
14. «Что нам нужно от колков(для гитар). – Режим доступа: <http://jablog.ru/blog/workshop/2724.html>».
15. «Due Платы Arduino. – Режим доступа: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Due>».
16. «Класификация гитарных тюнеров. – Режим доступа: <http://guitarlesson.ru/stati/tyuner-dlya-gitary.html>».
17. «Разъем TS 6.35 – распиновка, описание, фото. – Режим доступа: <http://pinov.net/connector/TS-6.35>».
18. «Неразрушающий контроль: суть и виды. – Режим доступа: <https://speranza-ua.com/news/nerazrushayushhij-kontrol-sut-vidy/>».
19. Lashko Olena Experience in the Organization of Non-Destructive Testing Formal Education in Ukraine / International Conference NDT Days 2019, 17-21 June, 2019, Sozopol, Bulgaria (NDT Days 2019). - P. 91-95.
20. Лашко О. В. Окремі аспекти розробки навчальних програм для студентів спеціалізації «Неруйнівний контроль, технічна діагностика» / О. В. Лашко // Матеріали III науково-технічної конференції «Неруйнівний контроль в контексті асоційованого членства України в Європейському Союзі» з міжнародною участю – NDT – UA 2019, 17-19 вересня 2019 року, м. Київ, Україна. – Київ : УТ НКТД, 2019. – С. 32-37.
21. Петрик, В. Ф. Метрологія, стандартизація та сертифікація в неруйнівному контролі [Електронний ресурс] : навчальний посібник з дисциплін «Метрологія» та «Сертифікація і стандартизація» / В. Ф. Петрик, А. Г.

Протасов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,04 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2015. – 266 с.

22. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						48
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

## Додаток А

### Технічне завдання

#### 1. Найменування приладу.

„ Прилад для автоматизованого налаштування гітари ”.

#### 2. Мета виконання дипломного проекту та призначення приладу.

Розробити автоматизований прилад для швидкого, зручного та точного налаштування гітари.

#### 3. Передумови для розробки приладу.

Дана розробка виконується відповідно до тематики дипломного проектування, затвердженої кафедрою приладів та систем неруйнівного контролю приладобудівного факультету НТУУ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”.

#### 4. Робочі умови експлуатації приладу.

Номінальні значення кліматичних факторів відповідно до ДСТУ 12.005-88:

- температура навколишнього середовища -10...40°C;
- відносна вологість 50% при температурі навколишнього середовища 20±5°C;
- атмосферний тиск 750±30 мм.рт.ст.

#### 5. Вимоги до конструкції приладу.

Прилад повинен зберігати працездатність та свої параметри відповідно до ДСТУ 17516-72.

5.1. Конструкція приладу повинна забезпечувати зручний доступ до всіх елементів, вузлів та блоків, які потребують замін в процесі експлуатації.

5.2. Прилад повинен мати мінімальну необхідну кількість органів управління, регулювання та керування:

5.2.1. органи багаторазового або частого використання повинні знаходитись на передній панелі керування приладом;

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		49

5.2.2. органи, які використовуються для одноразового налагодження приладу або зміна положення яких є небажаною, мають бути розташовані всередині загального корпусу приладу або на задній малодоступній панелі.

5.3. Використані покупні вироби та матеріали, під час випробування приладу повинні мати невикористаний ресурс, термін служби та термін схоронності яких не менше ресурсу й терміну служби приладу.

## **6. Техніко-економічні вимоги.**

6.1. Передбачається виготовлення одного дослідного зразка приладу.

6.2. Орієнтовна ціна дослідного зразка приладу повинна бути розрахована до початку проведення робіт.

## **7. Вимоги до упаковки.**

7.1. Транспортна упаковка повинна забезпечувати збереження приладу при транспортуванні та збереженні.

7.2. Коробку з приладом розміщують в транспортному ящику: простір між стінками ящика і коробки заповнюють пакувальним амортизаційним матеріалом.

## **8. Стандартизація та уніфікація.**

До приладу повинна бути прикладена експлуатаційна документація відповідно ДСТУ 25565-94.

## **9. Вимоги до техніки безпеки.**

9.1. Вимоги до безпеки конструкції, електробезпеки керування та обслуговування приладу повинні відповідати ДСТ 122007-75 та ДСТУ 123019-80.

9.2. Середній час без відмовлень роботи приладу повинен бути не менше 500 год.

## **10. Строк зберігання, служби та технічний ресурс.**

10.1. Прилад повинен витримувати зберігання протягом 3 років.

10.2. Строк служби 5 років.

10.3. Технічний ресурс 1000 год.

					<b>ПК61.11.00.000 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		