

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

Фізико-технічний факультет

Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Василів Владислав Ігорович

Vasyliv Vladyslav

УДК 004:42

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Кваліфікаційна робота

на здобуття освітнього ступеня бакалавра

Розроблення телеграфічного трінажера на Arduino

Development of a telegraphic simulator on Arduino

Науковий керівник:

Доцент Дзундза Б.С.

Рецензент:

К.ф.-м.н., викладач Яворський Я.С.

Івано-Франківськ

2024

Формат	Поз.	Позначення	Найменування	К-ть	Прим.
A4			Принципова електрична схема телеграфного тренажера	1	
A4			Топологія друкованої плати	1	
A4			Пояснювальна записка	45	

					123.КІ-41.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
<i>Розробив</i>		Василів В.І.			<b>Специфікація</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірів</i>		Дзундза Б.С.					2	1
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>								

## АНОТАЦІЯ

У роботі проведено ґрунтовний історико-технологічний аналіз еволюції телеграфних систем, починаючи від перших примітивних оптичних телеграфів до появи електромагнітних телеграфів і подальшого впровадження цифрових технологій кодування й передачі даних. Така ретроспектива дала можливість сформулювати поставлені задачі і в подальшому їх реалізувати.

Оскільки для роботи в радіоефірі потрібне дороговартісне обладнання та радіолюбительський позивний, актуальним є використання сучасних цифрових тренажерів. Нажаль в продажі відсутні тренажери з підтримкою української абетки, а це особливо важливо для сприймання на слух та передавання довільних текстів українською мовою.

Апаратно-програмна реалізація тренажера ґрунтується на принципах імпульсної модуляції сигналів та застосуванні методів цифрової обробки сигналів для кодування, фільтрації та демодуляції телеграфних повідомлень. Використання високопродуктивних мікроконтролерів забезпечує високу швидкість обробки даних та достовірність відтворення реальних телеграфних сигналів.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Василів В.І.			Анотація	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірив		Дзундза Б.С.					3	1
Н. Контр.								
Затвердив								

## ABSTRACT

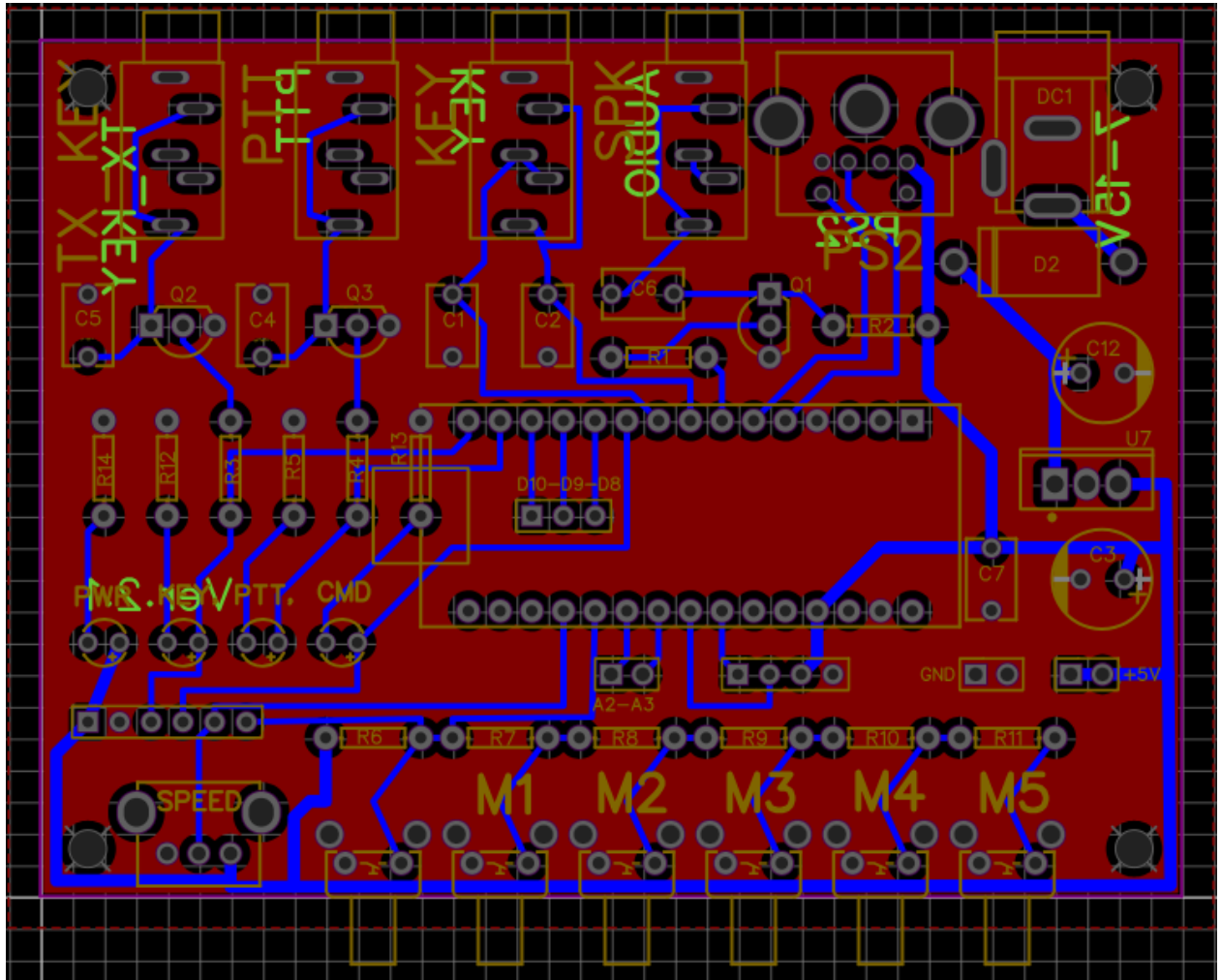
The work provides a thorough historical and technological analysis of the evolution of telegraph systems, starting from the first primitive optical telegraphs to the appearance of electromagnetic telegraphs and the subsequent introduction of digital coding and data transmission technologies. Such a retrospective made it possible to formulate the set tasks and in the future to implement them.

Since working on the radio requires expensive equipment and a radio amateur call sign, the use of modern digital simulators is relevant. Unfortunately, there are no simulators on sale that support the Ukrainian alphabet, and this is especially important for hearing and transmitting arbitrary texts in the Ukrainian language.

The hardware and software implementation of the simulator is based on the principles of pulse modulation of signals and the application of digital signal processing methods for coding, filtering and demodulation of telegraphic messages. The use of high-performance microcontrollers ensures high speed of data processing and the reliability of reproduction of real telegraph signals.

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Василів В.І.			Abstract	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
Перевірів		Дзундза Б.С.					4	1
Н. Контр.								
Затвердив								





					Топологія друкованої плати		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Василів В.І.				6	1
Перевірив		Дзундза Б.С.					
Н. Контр.							
Затвердив							

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи

на тему:

**«Розроблення телеграфічного тренажера на Arduino»**

					123.KI-41.3			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розробив		Василів В.І.			Пояснювальна записка	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Перевірив		Дзундза Б.С.					7	75
Н. Контр.								
Затвердив								

# ЗМІСТ

## Вступ

### 1. Телеграф – історія та сьогодення

1.1 Історія виникнення телеграфа

1.2 Застосування телеграфа в сьогодення, переваги та недоліки

1.3 Методи вивчення телеграфа

### 2. Автоматичне декодування та генерація телеграфного сигналу

2.1. Телеграфний ключ як засіб передачі сигналу

2.2 Математичні алгоритми декодування телеграфного сигналу

2.3 Програми реалізації декодування телеграфного сигналу та мікросхеми

2.4 Генерація телеграфного сигналу

### 3. Апаратно-програмна реалізація телеграфного тренажера

3.1. Схемотехнічна розробка тренажера

3.2. Програмна розробка

3.3. Перспективи розвитку

3.4. Огляд практичних варіантів використання тренажера у навчанні та розвагах.

## Висновки

## Література

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



## ВСТУП

Телеграф, безсумнівно, є одним із визначних винаходів людства, що кардинально змінив уявлення про можливості зв'язку та передачі інформації на відстані. Ця революційна технологія, яка з'явилася в середині ХІХ століття, стала проривом у галузі телекомунікацій, забезпечивши безпрецедентну на той час можливість швидкого обміну повідомленнями між віддаленими пунктами. Незважаючи на те, що з приходом більш сучасних технологічних рішень телеграф поступово втратив свою актуальність, його внесок у розвиток цивілізації є непересічним та невіддільним часу.

Телеграфна система зв'язку відіграла ключову роль у формуванні сучасного інформаційного суспільства, ставши фундаментом для подальшої еволюції таких галузей, як телефонія, радіозв'язок та інші засоби передачі даних. Вивчення принципів функціонування телеграфа, його історичної значущості та технічних особливостей є надзвичайно важливим не лише для розуміння еволюції комунікаційних технологій, але й для збереження культурної спадщини в царині телекомунікацій.

Головною метою даного дослідження є розробка інноваційного телеграфного тренажера на базі відкритої платформи Arduino, який поєднує в собі історичну цінність телеграфа та сучасні технологічні рішення, а також підтримує як міжнародну абетку так і українську. Основні завдання роботи полягають у:

Грунтовному вивченні історії зародження та розвитку телеграфної системи зв'язку, її ролі в еволюції засобів комунікації.

Проектуванні та реалізації апаратної та програмної складових телеграфного тренажера з використанням платформи Arduino.

Детальному описі алгоритмів обробки та декодування телеграфних сигналів, реалізованих у програмному забезпеченні тренажера.

Дослідженні перспектив застосування та подальшого вдосконалення розробленого тренажера в навчальному процесі, а також для розважальних цілей та популяризації технічних знань.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Представлена наукова робота ставить за мету не лише створити інноваційний навчальний інструмент, а й привернути увагу до історичної та культурної спадщини телекомунікацій, підкреслюючи важливість збереження та вивчення технологій минулого для глибокого розуміння сучасних досягнень і майбутнього прогресу в галузі зв'язку. Такий підхід дозволить сформуванати цілісне уявлення про еволюцію засобів комунікації та закласти міцне підґрунтя для подальших інновацій у цій сфері.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		10

## РОЗДІЛ 1. ТЕЛЕГРАФ – ІСТОРІЯ ТА СЬОГОДЕННЯ

### 1.1. Історія виникнення телеграфа

Хоча перші спроби передавати сигнали на відстані за допомогою електрики відбувалися ще на початку 19 століття, справжнім проривом у цій галузі став 1837 рік. Саме тоді два британські винахідники, Вільям Коок і Чарльз Вітстон, створили і запатентували першу працюючу електричну телеграфну систему, що складалася з ряду проводів, батарей та електромагнітів. Паралельно з цим, американець Самюель Морзе розробив відому азбуку, яка використовувала комбінації коротких і довгих сигналів (крапок і тире) для кодування літер та цифр.

У 1838 році Самюель Морзе успішно продемонстрував роботу свого коду та телеграфного пристрою. Однак справжня революція в галузі телекомунікацій відбулася в 1844 році, коли Морзе у співпраці з підприємцем Альфредом Вейлом провели першу комерційну телеграфну лінію між Вашингтоном і Балтимором завдовжки близько 60 кілометрів. 24 травня 1844 року було передано історичне повідомлення – цитата з Біблії "What hath God wrought" ("Що створив Бог").

Після цього телеграф розповсюдився з неймовірною швидкістю. Телеграфні лінії прокладалися навіть під річками, через гори і навіть океани за допомогою підводних кабелів. Це рішуче змінило швидкість передачі інформації та відкрило абсолютно нові можливості для комунікації. Телеграфна мережа швидко охопила весь світ, забезпечуючи миттєвий зв'язок між віддаленими регіонами та континентами.

Запровадження телеграфа стало визначальною подією в історії людства, що ознаменувало початок ери сучасних телекомунікацій. Ця революційна технологія заклала основи для подальшого розвитку засобів зв'язку, таких як телефон, радіо та, зрештою, інтернет. Телеграф не лише забезпечив швидку передачу інформації, а й став каталізатором соціальних, економічних та політичних змін у світовому масштабі.

Незважаючи на те, що з часом телеграф поступився місцем більш сучасним технологіям, його внесок у розвиток людської цивілізації є безцінним. Саме

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

телеграф продемонстрував можливості електрики та уособив прагнення людства до швидкого та ефективного обміну інформацією, що дозволило подолати обмеження просторових відстаней.

## **1.2 Телеграф в сьогоденні, переваги та недоліки.**

Телеграф, один з найважливіших винаходів у сфері зв'язку в минулому, нині значною мірою відійшов на задній план через стрімкий розвиток новітніх технологій комунікації. Проте, незважаючи на те що епоха телеграфа давно минула, цей архаїчний спосіб передачі інформації все ще знаходить своє застосування в сучасному світі.

Багато музеїв та історичних місць зберігають старовинні телеграфні апарати та лінії як цінні експонати, що демонструють еволюцію засобів зв'язку. Відвідувачі мають нагоду на власні очі побачити, як працювали ці системи в минулому, що допомагає їм краще зрозуміти історичний розвиток технологій комунікації. Крім того, в деяких освітніх установах телеграф використовується для вивчення принципів роботи перших систем зв'язку та їхньої ролі в історії.

Окрім освітніх та музейних цілей, телеграф залишається популярним серед ентузіастів та любителів старовинної техніки. Вони захоплюються відновленням та використанням телеграфних апаратів як хобі чи для демонстрацій. Іноді телеграфні лінії та обладнання використовуються в мистецьких інсталяціях, перформансах або на культурних заходах як символи минулого та зв'язку з історією.

У деяких віддалених та важкодоступних регіонах, де сучасні засоби зв'язку є обмеженими або відсутніми, телеграф досі застосовується для передачі повідомлень на великі відстані. Також телеграф знаходить застосування у військовій сфері, коли потрібна надійна та захищена комунікація.

Попри те що основним засобом обміну інформацією є інтернет та бездротові технології, телеграф продовжує відігравати свою роль в аматорському радіозв'язку, а завдяки простоті засобів передачі часто використовується як

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

резервний канал зв'язку в критичних ситуаціях. Багато радіоаматорів вивчають та використовують код Морзе для передачі повідомлень на великі відстані.

Телеграф став важливим елементом історії розвитку технологій зв'язку, і його вивчення студентами та дослідниками допомагає краще зрозуміти принципи роботи перших систем комунікації. Хоча в сучасному світі телеграф і не є основним способом передачі інформації, він залишається частиною культурної спадщини людства та знаходить практичне застосування в різних сферах життя.

Незважаючи на стрімкий розвиток сучасних технологій зв'язку, телеграф досі зберігає низку переваг, які забезпечують його актуальність у певних сферах та регіонах. Ось основні позитивні якості телеграфного зв'язку:

1. Документування прийнятої та відправленої інформації. Завдяки наявності фізичних записів повідомлень, телеграф забезпечує чіткий аудит та підтвердження передачі даних.

2. Висока завадостійкість. Телеграфні лінії є стійкими до різного роду перешкод та завад, що гарантує надійну передачу повідомлень навіть коди шуми в рази перевищують корисний сигнал.

3) Можливість відправлення завірених телеграм. Телеграми можуть бути офіційно завірени та мати юридичну силу, що робить їх цінним інструментом в державних установах та бізнесі.

4. Достовірність та якість передачі інформації. Завдяки прямому фізичному зв'язку, телеграф забезпечує високу точність та цілісність переданих даних.

6. Мінімальний час передачі повідомлень на великі відстані в присутності шумів та завад. Телеграф дозволяє швидко обмінюватися інформацією на значні відстані.

7. Висока безпека та складність несанкціонованого доступу до телеграфних ліній, що робить його затребуваним у державних структурах та силових відомствах.

8. Автоматичне записування повідомлень та факсимільних даних без участі оператора.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		13

Крім очевидних переваг, телеграф має і деякі недоліки, які стають все більш помітними на тлі розвитку альтернативних засобів зв'язку:

1. Потенційна недостовірність інформації через людський фактор. Якщо оператор, який набирає текст телеграми, допустить помилку, достовірність повідомлення може бути порушена.

2. Обмежена конфіденційність. До вмісту телеграм можуть мати доступ працівники, які займаються їх відправленням або прийомом, що ставить під сумнів приватність переданої інформації.

5. Висока складність освоєння і відповідно зниження попиту та значущості. З появою інтернету, персональних комп'ютерів, смартфонів та інших новітніх технологій з'явилося безліч альтернативних, більш зручних способів обміну інформацією, що призводить до втрати актуальності телеграфа.

6. Висока вартість обладнання, що робить телеграфний зв'язок менш економічно вигідним у порівнянні з сучасними рішеннями.

Незважаючи на ці недоліки, телеграф продовжує зберігати свою нішу в деяких специфічних галузях та регіонах, де його надійність, швидкість і можливість документування повідомлень залишаються вирішальними факторами. Проте, в більшості випадків сучасні технології комунікації виявляються більш зручними, економічними та ефективними альтернативами.

### **1.3. Методи вивчення телеграфа**

Вивчення спілкування за допомогою телеграфа є захопливою пригодою, що дозволяє поринути у світ історії технологій та мистецтва комунікації. Це цікаве завдання може стати справжнім викликом для тих, хто прагне зануритися у таємниці давніх засобів зв'язку. Ось кілька методів, які допоможуть вам опанувати цю унікальну форму спілкування:

Грунтовне вивчення коду Морзе - серця телеграфії. Оволодіння цим кодом, що складається з комбінацій крапок і тире, які символізують літери та цифри, є вихідною точкою вашої подорожі. Ви можете використовувати різноманітні

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

ресурси: інтерактивні онлайн-курси, спеціалізовані книги чи приєднатися до навчальних програм, щоб закарбувати код у пам'яті.

Активна практика з використанням телеграфних апаратів або симуляторів. Після засвоєння теорії важливо відпрацьовувати практичні навички передачі та декодування повідомлень у коді Морзе. Скористайтеся справжніми історичними телеграфними пристроями або сучасними програмними симуляторами для інтенсивного тренування.

Занурення у світ радіолюбительства та аматорського радіозв'язку. Приєднайтеся до спільнот радіоаматорів, які з захопленням використовують код Морзе для спілкування на великі відстані. Це дозволить вам застосовувати набуті навички в реальних умовах та обмінюватися повідомленнями з однодумцями з усього світу.

Дослідницька робота та вивчення історії телеграфного зв'язку. Поринайте у захопливий світ минулого, досліджуючи розвиток телеграфії, її вплив на суспільство та технологічний прогрес. Аналізуйте історичні документи, вивчайте характеристики та особливості експлуатації давніх телеграфних пристроїв.

Реконструкція історичних подій та використання телеграфа. Дізнайтеся більше про ключові моменти в історії, коли телеграф відігравав вирішальну роль у передачі важливої інформації під час воєн, торгових операцій чи транспортних перевезень. Відтворіть атмосферу того часу та відчуйте себе телеграфістом епохи.

Комбінуючи вивчення теорії, практичні вправи, спілкування з ентузіастами та дослідження історичного контексту, ви зможете глибоко зануритися у світ телеграфної комунікації та стати справжнім майстром цього старовинного, проте захопливого мистецтва.

Оскільки для роботи в радіоефірі потрібне дороговартісне обладнання та радіолюбительський позивний, актуальним є використання сучасних цифрових тренажерів. Нажаль в продажі відсутні тренажери з підтримкою української абетки, а це особливо важливо для сприймання на слух та передавання довільних текстів українською мовою.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

## РОЗДІЛ 2. АВТОМАТИЧНЕ ДЕКОДУВАННЯ ТА ГЕНЕРАЦІЯ ТЕЛЕГРАФНОГО СИГНАЛУ

### 2.1. Телеграфний ключ як засіб передачі сигналу

Інформація при передачі телеграфом кодується послідовністю коротких і довгих сигналів які позначаються крапками і тире. В азбуці Морзе кожній літері, цифрі чи розділовому знаку відповідає певна послідовність точок і тире.

Зокрема для інтернаціонального коду Морзе така відповідність зображена на рис. 2.1.

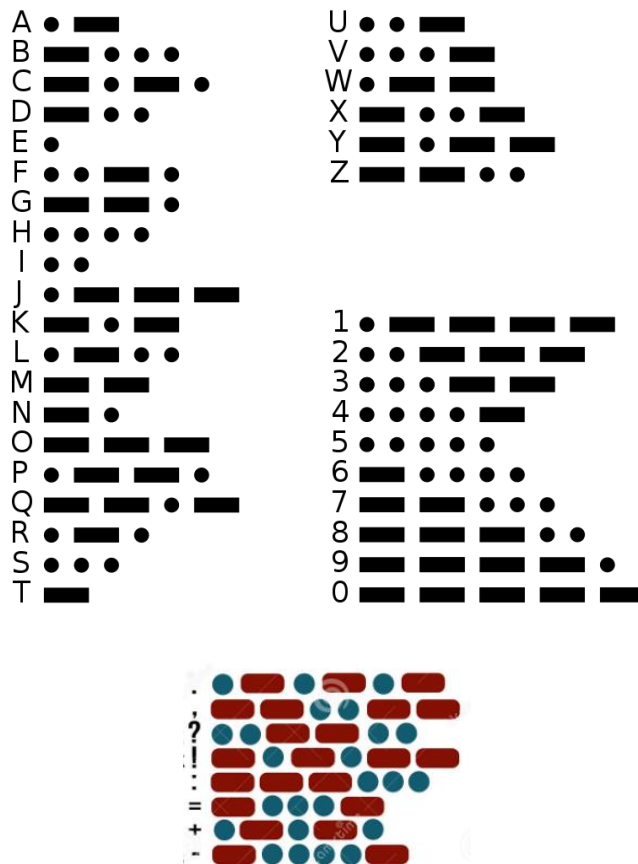


Рис. 2.1. Інтернаціональний код Морзе.

Для української абетки більша частина букв мають свого відповідника у інтернаціональній, також співпадають цифри та розділові знаки (рис. 2.2).



<b>А</b> ті-та ● — (А-зот)	<b>І</b> ті-ті ● ● (І-ван)	<b>Т</b> та — (Тон)
<b>Б</b> та-ті-ті-ті — ● ● ● (Бон-ла-рів-на)	<b>Ї</b> ті-та-та-та-ті ● — — — ● (Їж, хто го-ло-ден)	<b>У</b> ті-ті-та ● ● — (У-па-док)
<b>В</b> ті-та-та ● — — (Ві-тро-гон)	<b>Й</b> ті-та-та-та ● — — — (Йди хо-лод-ком)	<b>Ф</b> ті-ті-та-ті ● ● — ● (Філ-ан-тро-пи)
<b>Г</b> ті-ті-ті-ті ● ● ● ● (Га-ра-кі-рі)	<b>К</b> та-ті-та — ● — (Ко-лі-но)	<b>Х</b> та-та-та-та — — — — (Хо-ло-до-чок)
<b>Ґ</b> та-та-ті — — ● (Го-го-дзи)	<b>Л</b> ті-та-ті-ті ● — ● ● (Лі-со-ру-би)	<b>Ц</b> та-ті-та-ті — ● — ● (“Цьоця Дорця”)
<b>Д</b> та-ті-ті — ● ● (До-ли-на)	<b>М</b> та-та — — (Мо-роз)	<b>Ч</b> та-та-та-ті — — — ● (Чор-но-го-ра)
<b>Е</b> ті ● (Ерг)	<b>Н</b> та-ті — ● (Но-га)	<b>Ш</b> та-та-ті-та — — ● — (Шо-ло-ви-ло)
<b>Є</b> ті-ті-та-ті-ті ● ● — ● ● (Єд-ність то си-ла)	<b>О</b> та-та-та — — — (О-ко-лот)	<b>Щ</b> та-та-ті-та-та — — ● — — (Що-ро-ку мо-роз)
<b>Ж</b> ті-ті-ті-та ● ● ● — (Жа-б'є се-ло)	<b>П</b> ті-та-та-ті ● — — ● (При-мо-роз-ки)	<b>Ю</b> ті-ті-та-та ● ● — — (Ю-рій король)
<b>З</b> та-та-ті-ті — — ● ● (Зо-ло-ту-ха)	<b>Р</b> ті-та-ті — — ● (Ри-бонь-ка)	<b>Я</b> ті-та-ті-та ● — ● — (Я-ро-шен-ко)
<b>И</b> та-ті-та-та — ● — —	<b>С</b> ті-ті-ті ● ● ● (Са-га-ра)	<b>Ь</b> та-ті-ті-та — ● — —

Рис. 2.2. Українська абетка коду Морзе.

При прийманні азбуки Морзе не потрібно старатися порахувати кількість крапок і тире (так як при великій швидкості передачі це зробити не вдасться), а потрібно почути символ як окремий наспів чи мелодію. Тому кожному символу азбуки Морзе відповідає певний наспів де крапка замінюється на “ті”, а тире на “та”, наприклад літера Л буде звучати “ті-та-ті-ті”. Також кожній літері підібрано

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

милозвучне слово яке починається даною літерою, наприклад, Д звучить як “До-ли-на”.

Для передачі телеграфом класично використовують телеграфний ключ.

Телеграфний ключ - узагальнюючий термін для перемикаючого пристрою, використовуваного для передачі знаків азбуки Морзе.

Найпростішим є класичний вертикальний ключ (рис. 2.3), якій складається з металічних контактів які вручну замикають на короткій час - формуючи крапку та на довший - час формуючи тире.



Рис. 2.3. Класичний вертикальний телеграфний ключ.

Пізніше почали застосовувати більш зручні горизонтальні механічні ключі, де тире формувалося вручну, а крапки за допомогою коливань маятника (рис. 2.4.). Така робота потребувала деякого навчання, але в подальшому значно пришвидшувала передачу, та знижувала втомлюваність оператора.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

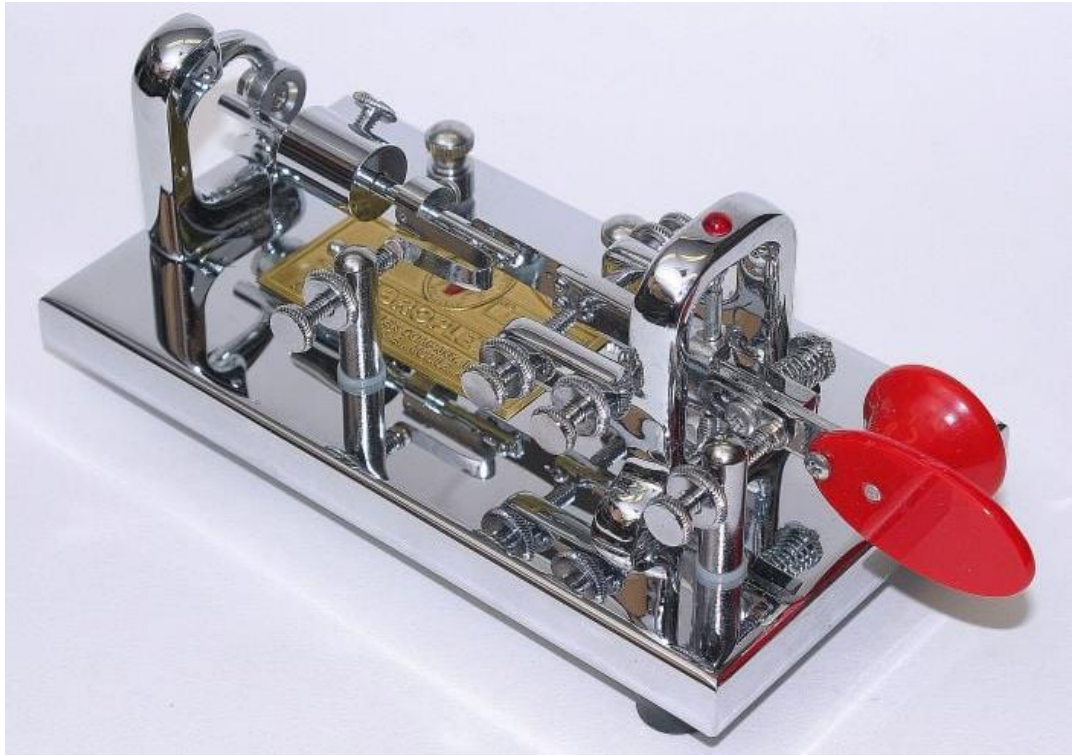


Рис. 2.4. Механічний горизонтальний телеграфний ключ.

З розвитком електроніки механічний горизонтальний ключ було замінено електронним маніпулятором, якій може мати один чи два важелі (рис. 2.5.) при відхиленні в одну сторону електронна схема формує крапки, в іншу тире, а при змиканні обох важелів до середини, автоматично формується послідовність крапка тире.

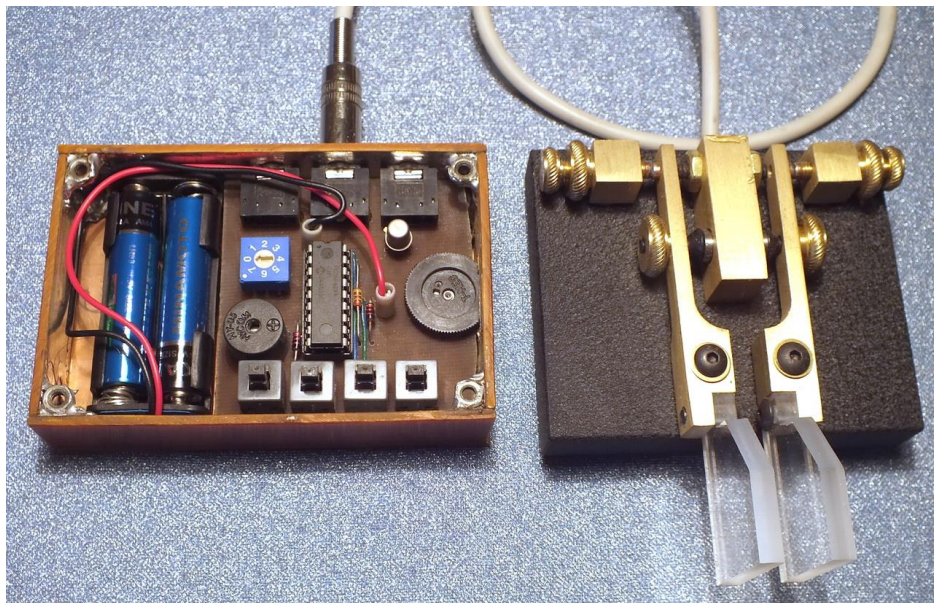


Рис. 2.5. Ключ телеграфний електронний.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

В подальшому було створено системи які автоматично формують телеграфні сигнали при натиску відповідної клавіші на клавіатурі.

## 2.2. Математичні алгоритми декодування телеграфного сигналу

Декодування телеграфного сигналу, представленого послідовністю коротких та довгих імпульсів (крапок і тире), є важливою задачею в галузі телекомунікацій та цифрової обробки сигналів. Одним із класичних і найбільш відомих алгоритмів для декодування такого роду сигналів є алгоритм Морзе, розроблений Семюелем Морзе у 1830-х роках.

Існує кілька основних підходів до декодування телеграфних сигналів за алгоритмом Морзе:

Алгоритми зіставлення шаблонів базуються на порівнянні вхідного сигналу з наперед визначеними еталонними зразками, що представляють кожен символ коду Морзе. Цей підхід може включати різні методи, такі як класичні алгоритми порівняння рядків, динамічне програмування або більш складні техніки, такі як приховані Марковські моделі (НММ).

Методи фільтрації та аналізу сигналів передбачають попередню обробку вхідного сигналу для виділення характерних ознак крапок і тире. Це може включати застосування фільтрів верхніх та нижніх частот, детекторів перепадів, пікових детекторів тощо. Після отримання "чистого" сигналу аналізуються тривалості імпульсів та проміжки між ними для розшифрування коду.

Техніки перетворення Фур'є дозволяють перевести сигнал з часової області в частотну для виявлення основних гармонічних складових. Наприклад, крапки матимуть високочастотні компоненти, а тире - низькочастотні. Розпізнавання символів відбувається шляхом аналізу частотного спектру та його порівняння з еталонними спектрами.

Сучасні методи машинного навчання, зокрема глибоке навчання з використанням згорткових нейронних мереж (CNN) та рекурентних нейронних мереж (RNN), є потужним інструментом для декодування телеграфних сигналів.

					123.KI-41.3	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ці моделі можуть автоматично вилучати корисні ознаки з сирих даних та навчатися розпізнавати складні патерни в сигналах коду Морзе.

Гібридні підходи поєднують кілька алгоритмів для підвищення точності та надійності розпізнавання. Наприклад, сигнал може спочатку пройти фільтрацію та перетворення Фур'є для видалення шуму та виділення основних частот. Потім очищений сигнал може бути поданий на вхід нейронної мережі для кінцевого декодування.

Важливим аспектом є попередня обробка сигналу для видалення шумів, спотворень та інших перешкод. Це може включати методи усунення періодичного завмирання сигналу, відновлення пропущених фрагментів тощо.

Деякі розширені алгоритми можуть враховувати контекстну інформацію та статистичні властивості телеграфних повідомлень для підвищення точності декодування. Наприклад, використання моделей мови або статистичного аналізу частот символів.

При навчанні моделей машинного навчання важливо мати великі та різноманітні набори даних з сигналами різної якості, швидкості передачі, рівнів шуму тощо для побудови робастних універсальних систем.

Математично декодування за Морзе описується так:

Тривалість крапки = 1 одиниця часу  
Тривалість тире = 3 одиниці часу  
Інтервал між символами = 3 одиниці часу  
Інтервал між словами = 7 одиниць часу

Підготовка до декодування включає розділення вхідного сигналу  $s(t)$  на символи за допомогою виявлення перепадів, обчисленням першої похідної:  $s'(t) = ds(t)/dt$ .

Вибір оптимального підходу залежить від вимог до швидкодії, точності, обчислювальних ресурсів та характеристик вхідних даних. Часто потрібно комбінувати різні алгоритми для максимальної ефективності декодування телеграфних повідомлень.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

### 2.3. Програми реалізації декодування телеграфного сигналу та мікросхеми

Програмне забезпечення:

1. MultiPSK - потужний комплекс програм для цифрових видів зв'язку, який включає модуль для декодування коду Морзе. Він підтримує різні алгоритми декодування, серед яких є згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі та алгоритми на основі прихованих Марковських моделей.

2. MMTTY - популярна програма для радіоаматорів, що дозволяє декодувати не лише код Морзе, а й інші види цифрових сигналів, таких як RTTY, PSK31 тощо. Вона має зручний інтерфейс та можливість налаштування параметрів декодування.

3. Unitrunker - комплексне рішення для декодування різноманітних видів аналогового та цифрового зв'язку, включаючи телеграфний сигнал. Воно використовує алгоритми машинного навчання та може працювати з аудіофайлами або прямим потоком даних.

4. W Skimmer - спеціалізована програма для декодування телеграфних сигналів у реальному часі. Вона здатна виявляти та розпізнавати кілька сигналів одночасно, що робить її корисною для радіоаматорських контестів та моніторингу ефіру.

**Апаратні рішення:**

1. Готові комерційні декодери телеграфа, такі як MFJ-464, Timewave DSP-599zx та інші. Ці пристрої оптимізовані для високошвидкісного та точного декодування коду Морзе і можуть бути підключені до радіоприймачів або комп'ютерів.

2. Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС) або FPGA, такі як Xilinx або Altera. Ці пристрої можуть бути налаштовані для паралельної обробки сигналів та високопродуктивного декодування телеграфа із застосуванням спеціалізованих алгоритмів.

3. Цифрові сигнальні процесори (ЦСП) різних виробників, наприклад, Texas Instruments або Analog Devices. Ці спеціалізовані мікросхеми оптимізовані для

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		22



обробки сигналів і можуть бути використані для реалізації ефективних алгоритмів декодування коду Морзе.

4. Модулі на основі мікроконтролерів STM32, ESP32 тощо. Ці недорогі платформи можуть бути запрограмовані для декодування телеграфних сигналів та інтегровані в різноманітні пристрої або системи.

Окрім готових рішень, існує можливість розробки власних алгоритмів та програм для декодування телеграфа з використанням різноманітних бібліотек та фреймворків для обробки сигналів, таких як NumPy, SciPy, TensorFlow, PyTorch тощо.

Вибір конкретного рішення залежить від багатьох факторів, серед яких швидкодія, точність, витрати, гнучкість налаштувань, енергоспоживання та інтеграція з іншим обладнанням. Деякі проекти можуть поєднувати кілька підходів, наприклад, використовуючи FPGA для первинної обробки сигналу та потужний комп'ютер для остаточного розпізнавання за допомогою складних алгоритмів машинного навчання.

## 2.4. Генерація телеграфного сигналу

Генерація телеграфного сигналу є критично важливим процесом для забезпечення надійного та ефективного зв'язку за допомогою телеграфа. Цей процес полягає у перетворенні текстових або голосових повідомлень на послідовність електричних імпульсів, які можуть бути передані через дротові лінії чи радіоканали до віддаленого приймача.

Існує кілька поширених методів генерації телеграфних сигналів:

1. Використання телеграфних ключів коду Морзе. Оператор вручну натискає та відпускає ключ, створюючи відповідно короткі (крапки) та довгі (тире) імпульси струму, які формують символи коду Морзе. Цей метод потребує певних навичок та досвіду роботи.

2. Застосування електронних генераторів сигналів. Сучасні телеграфні системи часто використовують спеціалізовані пристрої або мікросхеми, які

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

можуть бути запрограмовані для автоматичної генерації послідовностей імпульсів, що відповідають коду Морзе чи іншим телеграфним стандартам.

3. Програмне забезпечення для генерації телеграфних сигналів. Комп'ютерні програми або мобільні додатки можуть перетворювати текстові або голосові повідомлення на цифрові сигнали, які потім можуть бути передані на телеграфне обладнання для перетворення в електричні імпульси.

4. Використання мікроконтролерів та запрограмованих логічних матриць (FPGA). Ці електронні пристрої можуть бути спеціально запрограмовані для генерації телеграфних сигналів у реальному часі відповідно до вхідних даних або команд.

Незалежно від вибраного методу, процес генерації телеграфного сигналу вимагає точного контролю тривалості та часових інтервалів між імпульсами, а також чіткого дотримання стандартів та протоколів телеграфного зв'язку. Це забезпечує надійну та швидку передачу повідомлень на великі відстані.

У сучасних системах часто використовуються комбіновані підходи, коли програмне забезпечення генерує цифровий сигнал, який потім перетворюється на електричні імпульси за допомогою спеціалізованих апаратних пристроїв або мікросхем.

Правильна генерація телеграфного сигналу є критично важливою для забезпечення точної та ефективної передачі повідомлень, а також для сумісності між різними телеграфними системами та обладнанням.

Якщо коротко описати процес генерацію телеграфічного сигналу:

Кодування тексту: Спочатку текстове повідомлення переводиться в послідовність символів Морзе. Кожна буква, цифра та спеціальний символ має відповідний код Морзе, який складається з комбінації крапок та тире. Наприклад, буква "А" кодується як ".-" (крапка, тире).

Генерація сигналу: Після кодування тексту кожен символ Морзе перетворюється в аудіосигнал, який може бути відтворений за допомогою звукового обладнання. Крапка відповідає короткому періоду звучання, а тире -

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



тривалому. Інтервали між символами та словами також враховуються при генерації сигналу.

Відтворення сигналу: Отриманий аудіосигнал може бути відтворений через динамік чи інший звуковий пристрій. Кожна комбінація крапок та тире буде відтворена відповідно до її тривалості.

Закінчення передачі: Після того як весь текст був закодований та відтворений у вигляді телеграфного сигналу, передача може бути завершена.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

## РОЗДІЛ 3. АПАРАТНО-ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕЛЕГРАФНОГО ТРЕНАЖЕРА

### 3. Програмування Ardiono, реалізація телеграфного тренажера

Для початку реалізації телеграфного тренажера на Arduino, потрібно підключити п'єзоелектричний динамік, або динамік до плати Arduino для відтворення звукових сигналів. Потім додати кнопку для введення символів.

Далі, потрібно написати програму Arduino, яка буде чекати на натискання кнопки або активацію датчика натискання. При цьому Arduino буде відтворювати відповідні сигнали Морзе, використовуючи короткі і довгі тони для кодування букв та цифр.

Крім того, використано словник або таблицю для перетворення символів у відповідний код Морзе. Це дозволить зручно перевіряти правильність введених користувачем символів.

Після кожного введеного символу потрібно виводити відповідну букву або цифру на LCD дисплей, якщо ми його підключили, або просто на монітор комп'ютера через USB.

Для збільшення складності та цікавості можемо додати можливість регулювання швидкості відтворення сигналів Морзе. Це дозволить користувачу поступово підвищувати складність та швидкість свого тренування.

Крім основної функціональності, можна додати додаткові функції, такі як можливість вибору режиму тренування (наприклад, слова або випадкові символи), щоб зробити тренування більш різноманітним та захопливим.

Загалом, це загальний опис того, як можна реалізувати телеграфний тренажер на Arduino. Реалізація буде залежати від конкретних потреб та умов вашого проекту.

У сучасному світі реалізація телеграфного тренажера на базі Arduino може бути цікавим та корисним проектом для людей, які цікавляться історією та технологіями. Такий тренажер може бути корисним як для навчання самого коду Морзе, так і для розвитку вмінь концентрації та швидкості реакції.

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

У сучасних умовах ми можемо використовувати нові функціональні можливості Arduino, такі як бездротовий зв'язок (наприклад, Bluetooth або Wi-Fi), щоб забезпечити зручність користувачів. Крім того, можна підключити Arduino до смартфона або комп'ютера за допомогою спеціального додатку або програмного забезпечення, яке надасть більше можливостей для контролю та налаштування тренажера.

Також можна розглянути використання сучасних дисплеїв з високою роздільною здатністю для відображення інформації про тренування, такої як поточний символ Морзе, час реакції тощо. Використання сенсорних дисплеїв або навіть жестів може зробити користування тренажером ще зручнішим.

Також можна розглянути використання штучного інтелекту для аналізу та покращення навичок користувачів. Наприклад, система може адаптувати швидкість відтворення символів Морзе в залежності від успішності користувача або навіть пропонувати індивідуальні завдання на основі аналізу результатів тренувань.

Звичайно, тренажер також може бути інтегрований з іншими платформами для навчання та спільного тренування з іншими користувачами. Можливості Інтернету дозволяють створити онлайн-спільноту любителів телеграфії, де люди можуть обмінюватися досвідом та змагатися між собою.

Таким чином, реалізація телеграфного тренажера на Arduino в сучасному світі відкриває широкі можливості для розвитку та використання цього захоплюючого історичного методу зв'язку.

### 3.1 Схемотехнічна розробка

Компоненти:

#### 1. Arduino

Плата Arduino - це інноваційна відкрита розвіткова платформа, яка спростила та демократизувала світ мікроконтролерів і електроніки. В основі платформи лежить зручна у використанні апаратна та програмна основа, що

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

дозволяє створювати різноманітні інтерактивні пристрої та автоматизовані системи.

Серцем плати Arduino є потужний мікроконтролер, зазвичай від компаній Microchip або ARM. Ці мікроконтролери мають відкритий вихідний код, що робить їх гнучкими та зручними для програмування за допомогою спеціалізованого середовища розробки Arduino IDE. Програмування здійснюється на простій мові, схожій на C++, що значно полегшує процес для початківців та досвідчених розробників.

Крім центрального мікроконтролера, плати Arduino оснащені широким спектром вбудованих входів-виходів, включаючи цифрові та аналогові порти. Це дозволяє підключати різноманітні сенсори, модулі, світлодіоди, сервоприводи та інші пристрої для взаємодії з фізичним світом. Деякі моделі Arduino також мають вбудовані інтерфейси, такі як UART, SPI та I2C, для зв'язку з іншими електронними компонентами.

Одна з ключових переваг Arduino - це її універсальність. Плати можуть живитися від USB-порту комп'ютера або зовнішнього джерела живлення, що робить їх придатними для використання в різних середовищах. Крім того, Arduino легко розширюється за допомогою додаткових модулів, відомих як "шілди", які можна приєднати до основної плати для додавання нових функцій, наприклад, підтримки Ethernet, Wi-Fi, Bluetooth та інших бездротових технологій.

### **Детальні характеристики Arduino Nano**

Мікроконтролер: ATmega328

Тактова частота: 16 МГц

Напруга логічних рівнів: 5 В

Вхідна напруга живлення: 7–12 В

Порти введення-виведення загального призначення: 22

Максимальний струм з піна введення-виведення: 40 мА

Максимальний вихідний струм піна 3.3V: 50 мА

Максимальний вихідний струм піна 5V: 800 мА

Порти з підтримкою ШИМ: 6

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

Порти, підключені до АЦП: 8

Розрядність АЦП: 10 біт

Flash-пам'ять: 32 КБ

EEPROM-пам'ять: 1 КБ

SRAM-пам'ять: 2 КБ

Плата Arduino NANO v3 може житися від різних джерел живлення. Коли плата підключена через USB-кабель до комп'ютера, вона отримує робочу напругу 5В від USB-порту. Однак, у випадку підключення додаткового зовнішнього джерела живлення, наприклад батарейок або іншого адаптера, система Arduino автоматично перемикається на це зовнішнє джерело, якщо його напруга вища за 5В від USB.

Рекомендований діапазон напруги зовнішнього живлення становить від 7В до 12В. Це забезпечує стабільну роботу плати та підключених до неї компонентів. Важливо пам'ятати, що подача напруги безпосередньо на пін 5V на платі є неприпустимою і може призвести до виходу її з ладу або навіть пошкодження.

Для коректного живлення зовнішнім джерелом, напругу слід подавати через спеціальний пін VIN (Voltage IN). Це дозволить стабілізованому регулятору напруги на платі забезпечити безпечне та стабільне живлення самої плати та підключених периферійних пристроїв.

Живлення:

5В - На цей вивід виводиться стабілізована напруга 5 вольт. Вона може використовуватися для живлення зовнішніх компонентів та пристроїв, сумісних з напругою 5В.

3.3В - Цей вивід призначений для виведення стабілізованої напруги 3.3 вольт. Він зручний для живлення пристроїв та модулів, які працюють на низькій напрузі 3.3В.

GND - Вивід заземлення або "землі". Він використовується для створення спільної точки заземлення для плати та підключених до неї пристроїв.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

VIN - Вхідний вивід для подачі зовнішньої напруги живлення в діапазоні від 7 до 12 вольт. Зазвичай до нього підключають батарейки, акумулятори або інші джерела живлення для автономної роботи плати.

IREF - Вивід інформування про робочу напругу плати. Він використовується для моніторингу та визначення рівня напруги, який подається на плату в даний момент.

Ці виводи забезпечують гнучкість у виборі джерел живлення та напруг для плати та периферійних пристроїв, що підключаються до неї. Це дозволяє налаштовувати систему відповідно до вимог конкретного проекту чи застосування.

Пам'ять. На платі Arduino Nano присутні три різні типи пам'яті для зберігання програм та даних:

Flash-пам'ять. Це енергонезалежна пам'ять, призначена для зберігання скомпільованого коду програми, яку ви завантажуєте на плату через USB. Її обсяг становить 32 КБ для версії з мікроконтролером ATmega328 та 16 КБ для версії з ATmega168.

SRAM (Static RAM) - оперативна пам'ять. Вона використовується під час виконання програми для зберігання змінних, масивів та інших тимчасових даних. Обсяг SRAM становить 2 КБ для ATmega328 та 1 КБ для ATmega168. Важливо, що SRAM є енергозалежною, тобто всі дані в ній будуть втрачені після вимкнення живлення.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) - енергонезалежна пам'ять для зберігання даних, які повинні зберігатися після вимкнення живлення. Її обсяг становить 1 КБ. EEPROM ідеально підходить для зберігання налаштувань, калібрувальних даних тощо. Однак, слід пам'ятати, що EEPROM має обмежену кількість циклів перезапису - близько 100 000 разів.

Таким чином, Arduino Nano надає різні типи пам'яті для задоволення потреб користувача: програмний код зберігається у Flash, тимчасові дані - в SRAM, а постійні дані, що повинні зберігатися після вимкнення - в EEPROM.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

## 2. Динамік для звукового відтворення. PC speaker

Динамік для звукового відтворення, який також називають PC speaker, є невід'ємним компонентом більшості комп'ютерних систем та електронних пристроїв. Його основна функція - перетворювати цифрові аудіосигнали в звукові хвилі, що дозволяє користувачам чути різноманітний аудіоконтент.

В основі динаміка лежить акустичний елемент, який являє собою спеціальну мембрану, здатну вібрувати під дією електричного струму. Коли на акустичний елемент подаються змінні електричні сигнали від звукової карти або материнської плати, мембрана починає коливатися, створюючи звукові хвилі у повітрі, які ми сприймаємо як звук.

Якість звуку, що відтворюється динаміками, може значно варіюватися залежно від їх конструкції та характеристик. Від простих монофонічних систем з обмеженим діапазоном частот до потужних стереодинаміків з високою роздільною здатністю та глибоким басом - усі вони призначені для задоволення різних потреб користувачів.

Крім базової функції відтворення звуку, деякі динаміки можуть мати додаткові можливості, такі як регулювання гучності, еквайзери або підтримка різноманітних звукових ефектів. Ці додаткові функції роблять їх більш універсальними та зручними у використанні.

Фактично PC Speaker є найпростішим пристроєм відтворення звуку, який використовувався в IBM PC та сумісних ПК. До появи дешевих звукових карт він був основним пристроєм для відтворення звуку. За низької якості звуку отримав прізвисько PC squeaker. Веерер.

## 3. Кнопка або датчик натискання для введення символів. ТАСТ 6X6-8.0ММ 2PIN.

ТАСТ 6X6-8.0ММ 2PIN - це компактний тактовий перемикач, що широко використовується в різноманітних електронних пристроях та проектах. У назві вказані габаритні розміри корпусу - квадратна основа зі сторонами 6x6 мм і загальна висота 8 мм. Такі компактні розміри дозволяють ефективно використовувати обмежений простір на платах. Даний тактовий перемикач має 2

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

виводи (піни), які призначені для підключення до електричної схеми. Виводи можуть бути припаяні до друкованої плати або вставлені в монтажні отвори. При натисканні на кнопку перемикача відбувається замикання електричного кола між двома виводами, що дозволяє генерувати сигнал або команду в схемі. Після зняття натиску контакти розмикаються. Дана модель тактового перемикача ідеально підходить для проектів, де потрібно ініціювати певну дію користувача, наприклад, запуск/зупинка програми, переключення режимів, скидання налаштувань тощо. Квадратна форма та компактність роблять цей перемикач зручним для монтажу як на друковані плати, так і в корпуси пристроїв за допомогою кріплення або клею. Залежно від якості та виробника, ці тактові перемикачі можуть мати значний ресурс роботи, витримувати великі навантаження і бути стійкими до вібрацій та інших зовнішніх факторів. Завдяки своїй універсальності, простоті використання та доступній ціні, тактові перемикачі ТАСТ 6X6-8.0ММ 2PIN широко застосовуються в аматорських, навчальних і промислових проектах різного масштабу.

Перемикачі серії ТАСТ стандарту 6 x 6 мм, висота 8,0 мм. Контакт: SPST-NO (один полюс - один перемикач), нормально відкритий, моностабільний. Навантаження контакту: 12 В / 50 мА. Висота вказана від нижньої частини перемикача (рівень плати) до рівня кнопки.

Для зручнішого та більш реалістичного користування тренажером також можна використати ключ перемикач на подоба реального телеграфа, котрий можна підключити до плати Arduino Nano.

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		32



#### 4. LCD дисплей для відображення повідомлень. LCD 1602.

LCD дисплей 1602 - це компактний текстовий дисплей, що базується на технології рідкокристалічних панелей. Його головною особливістю є можливість відображати до 16 символів у 2 рядки, що робить його ідеальним для виведення коротких текстових повідомлень, налаштувань, лічильників та іншої інформації. Незважаючи на свій скромний розмір, цей дисплей надзвичайно популярний завдяки простоті інтеграції, низькій вартості та енергоефективності.

Керування LCD 1602 може здійснюватися через різні інтерфейси передачі даних, такі як паралельний, I2C або SPI. Найбільш поширеним є паралельний режим, який вимагає підключення декількох ліній даних та керування. Проте, сучасні модифікації часто мають вбудований адаптер I2C, що значно спрощує підключення до мікроконтролерів та інших пристроїв з обмеженою кількістю виводів.

Функціонал цього дисплея не обмежується лише відображенням тексту - він також здатний виводити прості графічні символи та іконки. Завдяки вбудованому контролеру, зміст дисплея можна динамічно змінювати за допомогою програмного коду на мікроконтролері чи комп'ютері.

Доступність, легкість використання та низька ціна роблять LCD 1602 незамінним у багатьох аматорських та промислових проектах, де потрібно відображати коротку текстову інформацію. Від домашньої автоматизації до приладобудування - цей дисплей знайшов широке застосування в різноманітних галузях.

5. Модуль енкодера KY-040 - це компактний модуль поворотного енкодера, який знайшов широке застосування в електроніці, робототехніці та проектах з мікроконтролерами. Він дозволяє точно вимірювати обертальний рух та визначати його напрямок, що робить його універсальним інструментом для різноманітних інтерактивних проектів.

В основі модуля лежить диск з вирізаними шлицями, який може вільно обертатися. Завдяки використанню оптичного принципу роботи, KY-040 здатний

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		33

виявляти обертання диска та його напрямок руху. Модуль генерує два окремі вихідні сигнали, один для обертання за годинниковою стрілкою, інший - проти.

Взаємодія KY-040 з мікроконтролерами або системами керування відбувається через підключення його вихідних сигналів до цифрових входів. Це дозволяє програмно відстежувати обертання та реагувати на нього відповідним чином у вашому коді.

Крім основної функції вимірювання обертання, деякі версії модуля KY-040 мають додаткову вбудовану кнопку. Натискання цієї кнопки може використовуватися для генерації додаткової події або команди в проекті.

Одна з переваг KY-040 - його компактні розміри та простота монтажу. Модуль легко можна закріпити на друкованій платі або всередині корпусу пристрою, що робить його ідеальним рішенням для портативних проектів або тих, де потрібно заощадити місце.

Завдяки своїй універсальності та низькій вартості, модуль поворотного енкодера KY-040 широко використовується в навчальних, аматорських та професійних проектах, де потрібно регулювання потужності, вимірювання позиції, керування рухомими об'єктами або будь-які інші задачі, пов'язані з обертальним рухом.

Модуль має три виходи - SW, DT і CLK. Сигнали про обертання знімаються з виводів DT і CLK, а з виводу SW - інформація про натискання кнопки. На платі передбачено місце для встановлення підтягуючого резистора для кнопки.

Цей модуль може використовуватися як альтернатива потенціометрам при розробці мікроконтролерних, аудіо пристроїв і в промисловій техніці.

Схема підключення:

1. **\*\*Підключення динаміка\*\***:

- Plusовий вивід динаміка підключаємо до піну аналогового виводу (наприклад, A0).

- Мінусовий вивід динаміка з'єднуємо з GND.

2. **\*\*Підключення кнопки або датчика натискання\*\***:

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- Один кінець кнопки (або контакт датчика натискання) підключаємо до піна цифрового вводу (наприклад, D2).
- Інший кінець з'єднуємо з GND.
- Для датчика натискання слід перевірити, чи необхідно підключити резистор підтягування.

### 3. Підключення LCD дисплея:

- Подробиці підключення можуть залежати від конкретного модуля LCD, але зазвичай вони підключаються через заздалегідь визначені піни Arduino (наприклад, D4-D7 для даних, D8 для RS, D9).

### . Інші підключення:

- Arduino живиться через USB або зовнішнє джерело живлення 7-12 В.

Загальна схема телеграфного тренажера якій містить в собі і електронний телеграфний ключ на Arduino представлена на рис. 3.1.

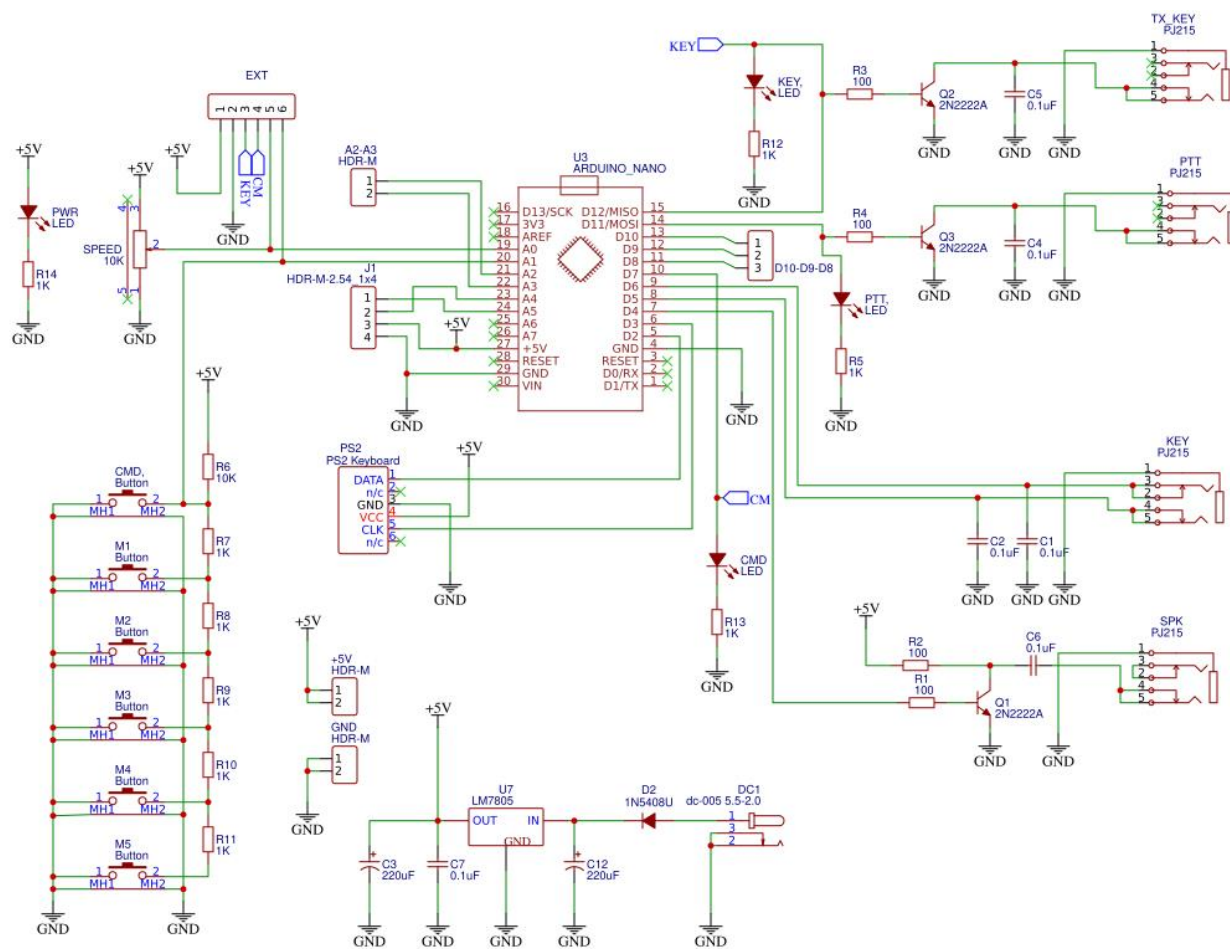


Рис. 3.1. Принципова електрична схема телеграфного тренажера.

Враховуючи принципову схему було розроблено топологію друкованої плати (рис. 3.2). Компоненти використано вивідні, увесь нижній шар відведено під земляний полігон.

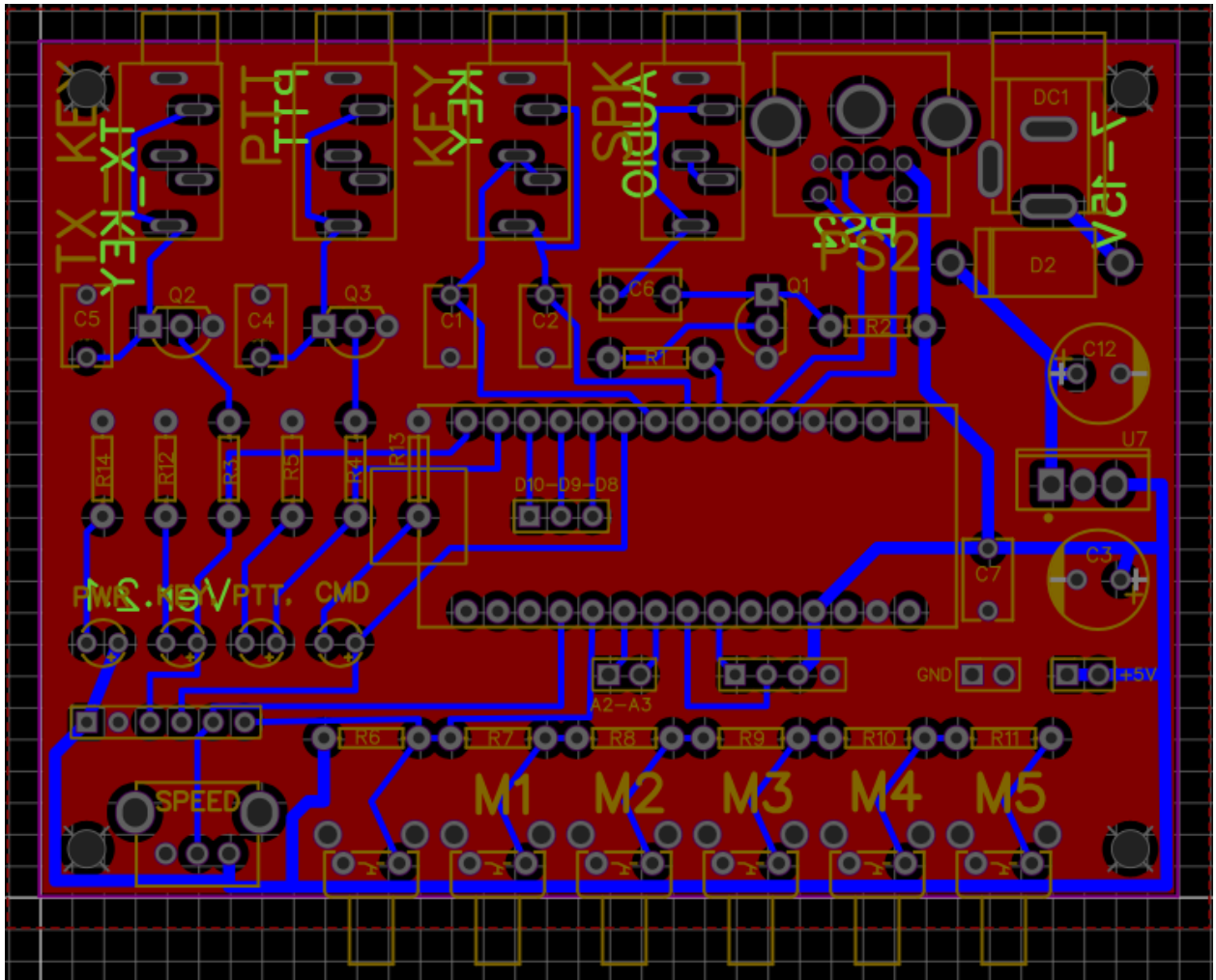


Рис. 3.2. Топологія друкованої плати телеграфного тренажера.

Загальний вигляд 3D моделі друкованої плати приведено на рис 3.3.

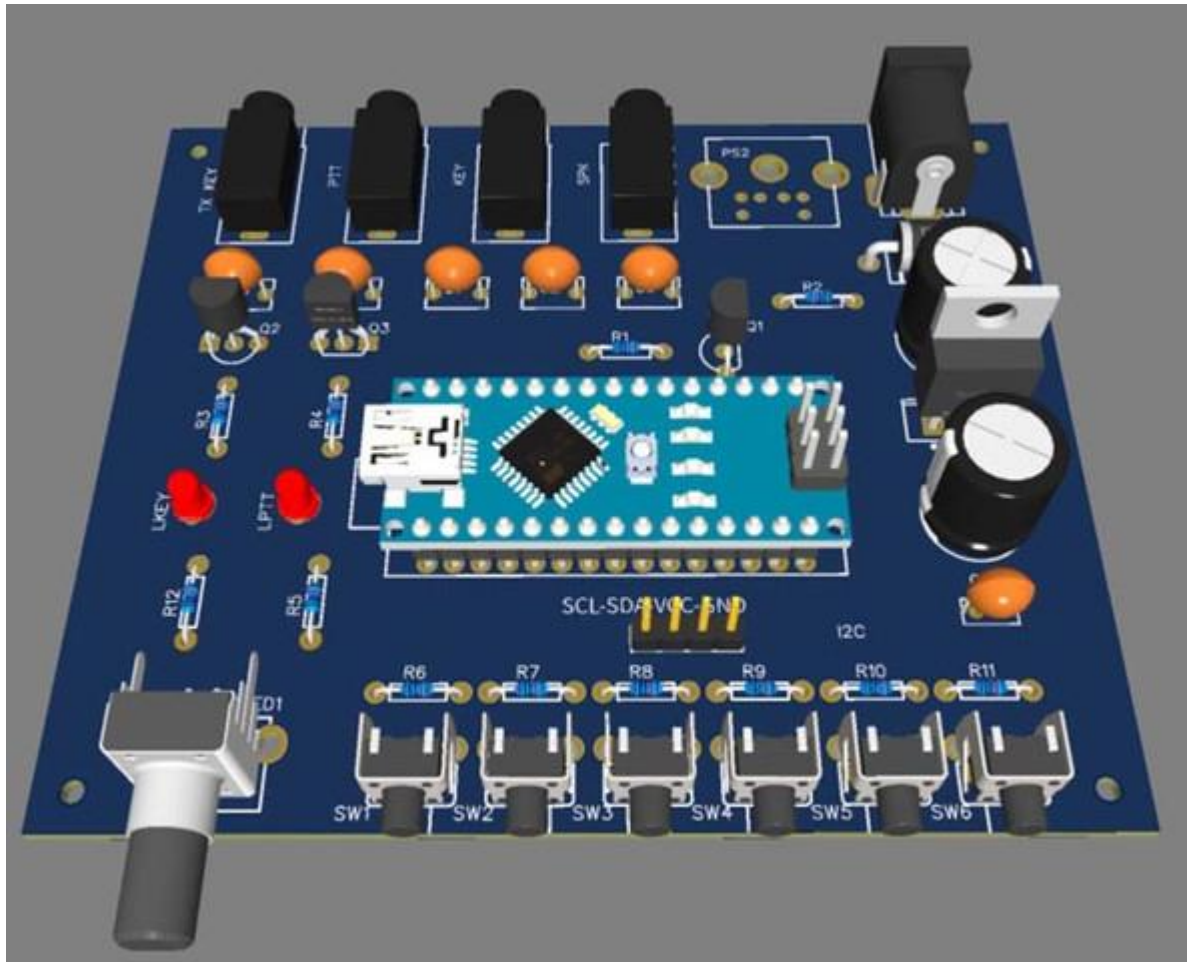


Рис. 3.3. Загальний вигляд 3D моделі друкованої плати

Давайте розглянемо загальну схему підключення компонентів для телеграфного тренажера на Arduino. Зважте, що це загальний опис, і конкретна схема може змінюватися в залежності від ваших вимог та вибору компонентів.

Пристрій живиться постійною напругою від 7 до 15 вольт.

Телеграфний тренажер забезпечено входами-виходами для підключення:

- Зовнішнього телеграфного маніпулятора - одно або двоконтактного - 3.5 мм роз'єм. Підтримуються як горизонтальні так і вертикальні телеграфні ключі.
- PS2 клавіатури - роз'єм PS2 (опціонально)
- Зовнішнього динаміка - 3.5 мм роз'єм
- Вихід на трансівер - 3.5 мм роз'єм, для роботи в радіоефірі.
- контакти для джампера, що включає вбудований джерело звуку, для самоконтролю
- контакти для підключення дисплея по I2C інтерфейсу

					123.KI-41.3	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- контакти, для підключення модуля енкодера типу KY-040 (опціонально)

Пристрій має зовнішні органи управління:

- Потенціометр, для регулювання швидкості роботи електронного ключа  
- 4 кнопки для перемикання режиму роботи та управління вбудованим меню пристрою (MENU - UP - DOWN - BACK)

Пристрій має наступні режими роботи:

1. Електронний ключ - (простий, ямбічний, вертикальний) - якщо не потрібно в тренажері.
2. Режим емуляції електронного ключа із введенням тексту з клавіатури
3. Електронний ключ з декодуванням тексту, що вводиться, на дисплей, для самоконтролю оператора.
4. Режим тренажера з виведенням 15 груп по 5 випадкових символів та відображенням їх на дисплеї для самоконтролю (більше 15 груп на дисплей не поміститься).
5. Режим "повтори" - пристрій видає послідовність випадкових символів, який повинен її повторити. Довжина послідовності з часом збільшується (1 символ - 2 послідовності, 2 символи - 4 послідовності і т.д. 3-6, 4-8, 5-10...) неправильно передана послідовність повторюється. Після 3 помилок повертаємось на послідовності з меншою кількістю символів.

Пристрій позиціонується насамперед як "самовчитель", але після освоєння телеграфу, можна використовувати як зовнішній електронний ключ до трансивера.

### 3.2. програмно

Ось код для телеграфного тренажера на базі Arduino, який включає описану вище схему підключення та функціональність:

```
// Підключення бібліотек
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Tone.h>
```

					123.KI-41.3	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

```

// Налаштування виводів LCD дисплея
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);

// Виводи для кнопки та динаміка
const int buttonPin = 2;
const int speakerPin = A0;

// Тривалості для відтворення коду Морзе
const int dotDuration = 200; // Тривалість точки
const int dashDuration = 600; // Тривалість тире
const int pauseDuration = 300; // Тривалість паузи між елементами

// Коди Морзе для символів (приклад)
char morseCode[][5] = {
    ".-", // A
    "-...", // B
    "-.-.", // C
    "-..", // D
    ".", // E
    "..-.", // F
    "--.", // G
    "....", // H
    "..", // I
    ".---", // J
    "-.-", // K
    "-..", // L
    "--", // M
    "-.", // N
    "---", // O

```

".--.", // P  
"--.-", // Q  
".-.", // R  
"...", // S  
"-", // T  
"..-", // U  
"...-", // V  
".--", // W  
"--.-", // X  
".-.-", // Y  
"--.." // Z  
".-.-.", // A  
"-...", // Б  
".--.", // В  
"--.-", // Г  
"..-", // Д  
"...-.", // Е  
"--.-", // Ж  
"--.." // З  
"..--", // И  
"..", // І  
".---", // Й  
"-.-", // К  
".-..", // Л  
"--", // М  
"-.", // Н  
".---", // О  
".-.-.", // П  
"--.-", // Р  
"...", // С

					<i>123.КІ-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		40



```

"...-", // Т
".--", // У
"..-", // Ф
"...-", // Х
"-.-", // Ц
"-.--", // Ч
"--.-", // Ш
"--.-", // Щ
"..--..", // Ъ
"--...", // Ю
"--.---" // Я

};

void setup() {
  // Ініціалізація LCD дисплея
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("Telegrapher");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Trainer");

  // Ініціалізація виводів
  pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
}

void loop() {
  // Перевірка натискання кнопки
  if (digitalRead(buttonPin) == LOW) {
    char input = waitForInput();
    playMorseCode(input);
  }
}

```

```

    lcd.clear();
    lcd.print(input);
}
}

char waitForInput() {
    while (!Serial.available()) {
        // Очікування на введення символу
    }
    return Serial.read();
}

void playMorseCode(char c) {
    // Перетворення символу на верхній регістр
    c = toupper(c);

    // Відтворення коду Морзе для символу
    int index = c - 'A';
    if (index >= 0 && index < 26) {
        playMorseSequence(morseCode[index]);
    } else {
        // Код Морзе не визначено для цього символу
    }
}

void playMorseSequence(char sequence[]) {
    for (int i = 0; sequence[i] != '\0'; i++) {
        playMorseElement(sequence[i]);
        delay(pauseDuration);
    }
}

```

					<i>123.KI-41.3</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

```

}

void playMorseElement(char element) {
  if (element == '.') {
    tone(speakerPin, 4000, dotDuration);
    delay(dotDuration);
  } else if (element == '-') {
    tone(speakerPin, 4000, dashDuration);
    delay(dashDuration);
  }
}
}
...

```

Цей код реалізує наступну функціональність:

1. Підключення бібліотек `LiquidCrystal.h` та `Tone.h`.
2. Налаштування виводів для LCD дисплея, кнопки та динаміка.
3. Визначення тривалостей для відтворення елементів коду Морзе (точок, тире та пауз).
4. Приклад кодів Морзе для символів англійського та українського алфавіту.
5. Ініціалізація LCD дисплея та виводів у функції `setup()`.
6. Основний цикл `loop()`, який перевіряє натискання кнопки та обробляє введення символів.
7. Функція `waitForInput()` очікує на введення символу з Serial монітора.
8. Функція `playMorseCode()` відтворює код Морзе для введеного символу.
9. Функція `playMorseSequence()` відтворює послідовність елементів коду Морзе для символу.
10. Функція `playMorseElement()` відтворює окремий елемент коду Морзе (точку або тире) через динамік, використовуючи функцію `tone()`.

Цей код передбачає, що введення символів відбувається через Serial монітор Arduino IDE. Введені символи відобразатимуться на LCD дисплеї, а їх коди Морзе відтворюватимуться через динамік.

Зверніть увагу, що для правильної роботи коду необхідно налаштувати схему підключення відповідно до опису та використовувати відповідні компоненти (LCD дисплей, динамік, кнопку).

Звичайно, розберемо кожен частину коду та опишемо її призначення.

```
// Підключення бібліотек
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Tone.h>
...
```

Тут підключаються дві бібліотеки: `LiquidCrystal.h` для роботи з LCD дисплеєм та `Tone.h` для відтворення звуку через динамік.

```
```cpp
// Налаштування виводів LCD дисплея
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
...
```

Ця частина налаштовує виводи Arduino, до яких підключено LCD дисплей. Числа в дужках вказують на номери виводів для підключення RS, EN, D4, D5, D6, D7 відповідно.

```
```cpp
// Виводи для кнопки та динаміка
const int buttonPin = 2;
const int speakerPin = A0;
...
```

Тут визначаються номери виводів, до яких підключено кнопку (в даному випадку, вивід 2) та динамік (аналоговий вивід A0).

```
```cpp
// Тривалості для відтворення коду Морзе
```

```

const int dotDuration = 200; // Тривалість точки
const int dashDuration = 600; // Тривалість тире
const int pauseDuration = 300; // Тривалість паузи між елементами
...

```

Ця частина задає тривалості відтворення елементів коду Морзе: точок, тире та пауз між ними. Значення вказані в мілісекундах.

```

```cpp
// Коди Морзе для символів англійського алфавіту та кирилиці
char morseCode[][6] = {
    // ...
};
...

```

Тут визначається масив `morseCode`, який містить коди Морзе для символів англійського алфавіту та кирилиці. Кожен рядок масиву відповідає символу, а значення в лапках - це код Морзе для цього символу.

```

```cpp
void setup() {
    // Ініціалізація LCD дисплея
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("Telegrapher");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Trainer");
    // Ініціалізація виводів
    pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
}
...

```

Функція `setup()` виконується один раз при запуску програми. Тут ініціалізується LCD дисплей, виводиться заголовок "Telegrapher Trainer" та налаштовується вивід для кнопки як входу з підтягуванням до живлення.

```

```cpp

```

```

void loop() {
  // Перевірка натискання кнопки
  if (digitalRead(buttonPin) == LOW) {
    char input = waitForInput();
    playMorseCode(input);
    lcd.clear();
    lcd.print(input);
  }
}
...

```

Функція `loop()` є основним циклом програми, який постійно виконується. Тут перевіряється, чи натиснуто кнопку. Якщо так, програма очікує на введення символу (`waitForInput()`), відтворює відповідний код Морзе (`playMorseCode(input)`), очищає LCD дисплей та виводить введений символ.

```

...cpp
char waitForInput() {
  while (!Serial.available()) {
    // Очікування на введення символу
  }
  return Serial.read();
}
...

```

Функція `waitForInput()` очікує на введення символу через Serial монітор Arduino IDE. Коли символ введено, функція повертає його.

```

...cpp
void playMorseCode(char c) {
  // Перетворення символу на верхній регістр
  c = toupper(c);

  // Відтворення коду Морзе для символу

```

```

int index = -1;
for (int i = 0; i < sizeof(morseCode) / sizeof(morseCode[0]); i++) {
    if (c == morseCode[i][0]) {
        index = i;
        break;
    }
}

if (index >= 0) {
    playMorseSequence(morseCode[index]);
} else {
    // Код Морзе не визначено для цього символу
}
}
...

```

Функція `playMorseCode(char c)` приймає введений символ `c` та відтворює відповідний код Морзе. Спочатку символ перетворюється на верхній регістр (`toupper(c)`). Потім функція шукає індекс введеного символу в масиві `morseCode`. Якщо символ знайдено, викликається функція `playMorseSequence()` для відтворення його коду Морзе.

```

...cpp
void playMorseSequence(char sequence[]) {
    for (int i = 0; sequence[i] != '\0'; i++) {
        playMorseElement(sequence[i]);
        delay(pauseDuration);
    }
}
...

```

Функція `playMorseSequence(char sequence[])` приймає рядок `sequence`, який містить код Морзе для символу. Вона послідовно проходить по елементах рядка (точках та тире) та викликає функцію `playMorseElement()` для відтворення кожного елемента. Між елементами робиться пауза (`delay(pauseDuration)`).

```
```cpp
void playMorseElement(char element) {
    if (element == '.') {
        tone(speakerPin, 4000, dotDuration);
        delay(dotDuration);
    } else if (element == '-') {
        tone(speakerPin, 4000, dashDuration);
        delay(dashDuration);
    }
}
}
```
```

Функція `playMorseElement(char element)` приймає окремий елемент коду Морзе (‘.’ для точки або ‘-’ для тире). Залежно від елемента, функція відтворює звук через динамік за допомогою функції `tone()` з відповідною тривалістю (`dotDuration` для точки або `dashDuration` для тире). Після відтворення звуку робиться затримка, щоб звук повністю відтворився.

Загалом, цей код реалізує телеграфний тренажер, який дозволяє вводити символи (англійського алфавіту та кирилиці) та відтворює їх коди Морзе через динамік. Введений символ також відображається на LCD дисплеї.

### 3.3. Перспективи розвитку

Телеграфний тренажер на базі платформи Arduino, незважаючи на свій вже різнобічний функціонал, відкриває широкі обрії для подальшого вдосконалення та нарощування можливостей. Його потужний потенціал дозволяє розглядати низку

|     |      |          |        |      |             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.3 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |             | 48   |



перспективних напрямків розвитку, які здатні вивести цей пристрій на якісно новий рівень і розширити спектр його практичного застосування.

Одним із пріоритетних шляхів модернізації тренажера може стати інтеграція додаткових програмних модулів, спрямованих на симуляцію різноманітних режимів передачі даних. Це охоплюватиме як завадостійкі методи кодування інформації, так і криптографічні алгоритми шифрування повідомлень. Подібне розширення функціональності забезпечить можливість створення комплексних навчальних сценаріїв, що дозволять поглиблено вивчати принципи кодування, модуляції та захисту даних під час передачі. Це матиме особливу цінність для підготовки висококваліфікованих фахівців у галузях телекомунікацій, інформаційної безпеки та військової справи.

Крім того, перспективним напрямком є розробка кросплатформного програмного інтерфейсу для тренажера. Це забезпечить сумісність пристрою з різноманітними операційними системами та апаратними платформами, значно розширюючи коло потенційних користувачів. Тренажер зможе використовуватися не лише в навчальних закладах, а й під час виставок, розважальних заходів або навіть у домашніх умовах, не будучи прив'язаним до специфічного обладнання.

Удосконалення може торкнутися і апаратної складової тренажера. Зокрема, може бути передбачена інтеграція додаткових модулів вводу/виводу, таких як дисплеї, світлові або звукові індикатори, що дозволить створити більш багатий та інтерактивний користувацький досвід. Також доцільно розглянути можливість забезпечення бездротового зв'язку між окремими модулями пристрою, відкриваючи нові сценарії його застосування в рамках навчальних або розважальних заходів.

Нарешті, невід'ємним аспектом розвитку тренажера має стати постійне оновлення його програмного забезпечення та алгоритмів обробки даних відповідно до новітніх досягнень у галузі цифрової обробки сигналів та телекомунікацій. Це дозволить підтримувати актуальність та сучасність пристрою, забезпечуючи його відповідність останнім технологічним тенденціям і стандартам.

|            |             |                 |               |             |                    |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.3</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                    | 49          |

Реалізація зазначених перспектив розширення функціональності телеграфного тренажера на Arduino не лише підвищить його ефективність та різнобічність застосування, а й забезпечить гармонійне поєднання історичної цінності телеграфії з інноваційними технологічними рішеннями. Це дозволить максимально розкрити потенціал цього багатогранного пристрою та зробити його привабливим для широкого кола користувачів різних сфер діяльності, від освіти та науки до розваг та військової справи.

### **3.4. Огляд практичних варіантів використання тренажера у навчанні та розвагах.**

Телеграфний тренажер на Arduino є універсальним багатофункціональним пристроєм, який відкриває широкі перспективи застосування як у навчальному процесі, так і для організації захоплюючих розважальних заходів, гармонійно поєднуючи історичну цінність телеграфної системи зв'язку з інноваційними технологічними рішеннями. У сфері освіти цей апарат забезпечує унікальну можливість занурення в історію розвитку телекомунікацій та поглиблене вивчення принципів функціонування телеграфних систем.

У рамках навчальних програм з історії чи фізики тренажер може слугувати наочним посібником для демонстрації роботи телеграфа та практичного ознайомлення з кодом Морзе. Учні на власному досвіді зможуть відтворити процес передачі та прийому повідомлень, використовуючи комбінації крапок і тире, що сприятиме кращому засвоєнню матеріалу та формуванню глибокого розуміння еволюції засобів зв'язку. Для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів цей пристрій відкриває можливості вивчення принципів цифрової обробки сигналів, алгоритмів кодування та модуляції даних, а також особливостей програмування вбудованих систем.

Окрім навчальних цілей, телеграфний тренажер може знайти застосування і в розважальній сфері, ставши центральним елементом тематичних вечірок або ігрових змагань. Учасникам буде запропоновано позмагатися у швидкості та

|     |      |          |        |      |             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.3 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |             | 50   |

точності передачі повідомлень за допомогою коду Морзе, створюючи атмосферу азарту, інтриги та сприяючи розвитку комунікативних навичок, концентрації уваги та швидкості реакції. Крім того, тренажер може бути використаний під час організації інтерактивних виставок чи майстер-класів, де відвідувачі матимуть нагоду зануритися в атмосферу минулого та ознайомитися з історією та технічними аспектами телеграфії, водночас дізнавшись про сучасні технологічні досягнення.

В умовах війни, що нині точиться в Україні, телеграфний тренажер може знайти додаткове практичне застосування у військовій сфері для навчання військовослужбовців закодованій комунікації та передачі даних. Пристрій може стати ефективним засобом підготовки бійців до ведення криптографічного зв'язку в екстремальних польових умовах, коли традиційні канали комунікації можуть бути пошкоджені або перехоплені ворогом. Опанування телеграфним кодом дозволить забезпечити конфіденційність і безпеку обміну інформацією, що є критично важливим для успішного проведення військових операцій. Додатково, використання тренажера сприятиме розвитку здатності зберігати концентрацію та ефективно діяти в умовах стресу, невід'ємної для бойової підготовки.

Отже, розроблений телеграфний тренажер на платформі Arduino являє собою багатогранний інструмент, застосування якого охоплює широкий спектр можливостей – від навчальних цілей до організації розважальних заходів, а також забезпечення потреб військової сфери в умовах воєнного стану.

|            |             |                 |               |             |                    |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>123.KI-41.3</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                    | 51          |

## ВИСНОВКИ

У фундаментальній частині роботи викладено ґрунтовний історико-технологічний аналіз еволюції телеграфних систем, починаючи від перших примітивних оптичних телеграфів до появи електромагнітних телеграфів і подальшого впровадження цифрових технологій кодування й передачі даних. Така ретроспектива дала можливість сформулювати поставлені задачі і в подальшому їх реалізувати.

Апаратна реалізація тренажера ґрунтується на принципах імпульсної модуляції сигналів та застосуванні методів цифрової обробки сигналів (ЦОС) для кодування, фільтрації та демодуляції телеграфних повідомлень. Використання високопродуктивних мікроконтролерів забезпечує високу швидкість обробки даних та достовірність відтворення реальних телеграфних сигналів.

Експериментальна частина роботи присвячена комплексному тестуванню розробленого телеграфного тренажера в різних режимах роботи та умовах експлуатації. Проведено низку випробувань на стійкість до завад, надійність прийому/передачі сигналів, а також досліджено вплив різних параметрів модуляції на якість декодування повідомлень. Результати експериментів продемонстрували високу ефективність та стабільність функціонування тренажера.

Педагогічні дослідження, проведені в рамках роботи, підтвердили значний позитивний вплив використання інтерактивних навчальних засобів, подібних до розробленого телеграфного тренажера, на мотивацію студентів, рівень засвоєння матеріалу та формування практичних компетенцій. Отримані дані свідчать про доцільність широкого впровадження інноваційних технологічних рішень у навчальний процес на різних рівнях освіти.

Перспективи подальших досліджень охоплюють розширення функціоналу тренажера шляхом інтеграції додаткових модулів симуляції завадостійких режимів передачі даних, імплементації альтернативних методів кодування/модуляції, а також розробки кросплатформного програмного інтерфейсу для забезпечення сумісності з різними операційними системами та апаратними платформами.

|     |      |          |        |      |             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.3 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |             | 52   |

## ЛІТЕРАТУРА

1. [https://github.com/k3ng/k3ng\\_cw\\_keyer/wiki/210-Build:-Schematic](https://github.com/k3ng/k3ng_cw_keyer/wiki/210-Build:-Schematic)
2. Мікроконтролери і Arduino в проектах автоматизації. Володимир Самойленко. Кондор, 2018. 320 с.
3. "Цифрові пристрої та мікропроцесори". Олександр Степаненко. Львівська політехніка, 2016. 400 с.
4. "Електронні системи: проектування та розробка". Сергій Бойко. Видавництво КНУ, 2016. 360 с.
5. "Технології програмування мікроконтролерів". Олег Козловський. Інтерсервіс, 2017. 300 с.
6. "Системи автоматизації на базі мікроконтролерів". Ігор Петров. Політехніка, 2017. 420 с.
7. [https://www.researchgate.net/publication/351928510\\_INNOVATION\\_ON\\_ARDUINO\\_TRAINER\\_KIT\\_FOR\\_TEACHING\\_AND\\_LEARNING\\_PROCESS](https://www.researchgate.net/publication/351928510_INNOVATION_ON_ARDUINO_TRAINER_KIT_FOR_TEACHING_AND_LEARNING_PROCESS)
8. <https://www.instructables.com/USB-Arduino-Morse-Code-Key/>

|     |      |          |        |      |             |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------|------|
|     |      |          |        |      | 123.KI-41.3 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |             | 53   |