

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 16 » червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

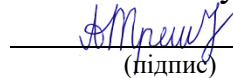
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Мікропроцесорна система для відтворення тексту у рельєфно-крапковому форматі

Виконав: студент

4391 групи


(підпис)

А.І. Трешнюк

Керівник роботи:

професор каф. ПЕЕТ, д.т.н.,

професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

О.О. Ушкаренко

м. Миколаїв–2025року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	<u>програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій</u>
Спеціальність	<u>172«Телекомунікації та радіотехніка »</u>
Освітня програма	<u>Телекомунікації</u>

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
 О.К.Жук
(підпис)

« 14 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Трешнюку Андрію Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мікропроцесорна система для відтворення тексту у рельєфно-крапковому форматі
керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, професор каф. ПЕЕТ, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № УЧ-343 від «23» квітня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: параметри шрифту Брайля: кількість крапок у символі 6 або 8 (залежно від стандарту); параметри соленоїдів: робоча напруга 5–12В, споживаний струм 200–500 мА, час спрацьовування 5–15 мс; джерело живлення 5-12В, споживана потужність 5–15 Вт; формат вхідних даних: ASCII

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Аналітичний огляд систем тактильного відтворення тексту

2. Розробка апаратної частини системи тактильного відтворення тексту

3. Розробка програмної частини системи тактильного відтворення тексту

4. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Структурна схема системи тактильного відтворення тексту.

2. Елементна база, що використовувалась при розробці системи.

3. Принципова схема системи тактильного відтворення тексту.

4. Архітектура програмного забезпечення.

5. Блок-схема алгоритму роботи програмного забезпечення.

6. Консультанти розділів роботи

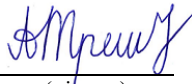
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 24 » лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Обґрунтування актуальності розробки системи	11.03.2025	виконано
	тактильного відтворення тексту, огляд існуючих технологій рельєфно-крапкового відображення інформації.		
2.	Аналіз пристроїв, що використовують шрифт Брайля; порівняльний аналіз існуючих систем та визначення їх недоліків.	28.03.2025	виконано
3.	Формулювання вимог до системи, розробка структурної схеми системи.	11.04.2025	виконано
4.	Вибір елементної бази та розробка принципової схеми системи	28.04.2025	виконано
5.	Моделювання, прототипування та тестування апаратної частини	12.05.2025	виконано
6.	Проектування архітектури програмного забезпечення системи тактильного відтворення тексту	30.05.2025	виконано
7.	Розробка алгоритмів роботи програмного забезпечення	05.06.2025	виконано
8.	Підготовка розділу з охорони праці, оформлення кваліфікаційної роботи, підготовка графічного матеріалу	10.06.2025	виконано

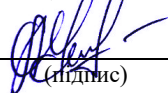
Студент


(підпис)

А.І. Трешнюк

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

О.О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто сучасні технології, які застосовуються для перетворення текстової інформації у рельєфно-крапковий формат, та проаналізовано їх переваги й недоліки. Розроблено апаратно-програмний комплекс, що складається з мікроконтролера, електромеханічних виконавчих елементів і драйверів керування, які забезпечують формування тактильного тексту. Розроблено структурну та принципову схеми пристрою, а також алгоритм та програмне забезпечення для перетворення введеного тексту у відповідний формат для виведення у вигляді рельєфно-крапкових символів. Запропонована розробка може бути використана у сфері освіти та доступності інформації для людей з порушеннями зору, а також слугувати основою для подальших досліджень у напрямку автоматизованих систем тактильного відтворення тексту.

Ключові слова: тактильне відтворення тексту, шрифт Брайля, мікропроцесорне керування, апаратно-програмний комплекс.

Abstract

The bachelor's qualification work provides an analytical review of tactile text reproduction systems, in particular electromechanical devices that use Braille. Modern technologies used to convert text information into a relief-dot format are considered, and their advantages and disadvantages are analyzed. A hardware-software complex consisting of a microcontroller, electromechanical executive elements and control drivers that ensure the formation of tactile text has been developed. A structural and schematic diagram of the device has been developed, as well as an algorithm and software for converting the entered text into a suitable format for output in the form of relief-dot symbols. The proposed development can be used in the field of education and information accessibility for people with visual impairments, and also serve as the basis for further research in the direction of automated tactile text reproduction systems.

Keywords: tactile text reproduction, Braille, microprocessor control, hardware and software complex.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналітичний огляд систем тактильного відтворення тексту.	8
1.1. Обґрунтування актуальності розробки системи тактильного відтворення тексту	8
1.2. Огляд технологій рельєфно-крапкового відображення інформації	11
1.3. Аналіз пристроїв, що використовують шрифт Брайля.....	14
1.4. Порівняння існуючих систем та визначення їх недоліків.....	17
Розділ 2. Розробка апаратної частини системи тактильного відтворення тексту	21
2.1. Розробка структурної схеми системи.....	21
2.2. Вибір та обґрунтування елементної бази.....	24
2.3. Схемотехнічне рішення та побудова моделі	26
2.4. Прототипування та тестування механічної системи	29
Розділ 3. Розробка програмної частини системи тактильного відтворення тексту	36
3.1. Архітектура програмного забезпечення	36
3.2. Алгоритм обробки тексту та його конвертації у тактильний формат.....	37
3.3. Реалізація управління апаратними модулями	40
3.4. Розробка інтерфейсу користувача, тестування та оптимізація програмного забезпечення.....	41
Розділ 4. Охорона праці	47
4.1. Вступ.....	47
4.2. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів впливаючих на людину, при розробці мікропроцесорної системи	48
4.3. Розрахунок захисного заземлення	51
4.4. Заходи щодо техніки безпеки.....	55
Висновки	58

Список використаних джерел	60
Додаток А.....	63
Програмний код системи	63
Додаток Б	64
Лістинг головного циклу програми	64

ПЕРЕЛІКУМОВНИХПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬТАТЕРМІНІВ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ЕРС – електрорушійна сила

ІС – інтегральні схеми

МК – мікроконтролер

МП – мікропроцесор

САПР – система автоматизації проектування

ПК – персональний комп'ютер

MCU (Microcontroller Unit) – мікроконтролер

PWM (Pulse Width Modulation) – широтно-імпульсна модуляція

USB (Universal Serial Bus) – універсальна послідовна шина

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – універсальний асинхронний приймач-передавач

I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовний інтерфейс для зв'язку між мікросхемами

SPI (Serial Peripheral Interface) – інтерфейс послідовного зв'язку

PCB (Printed Circuit Board) – друкована плата

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки

					172.4391.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

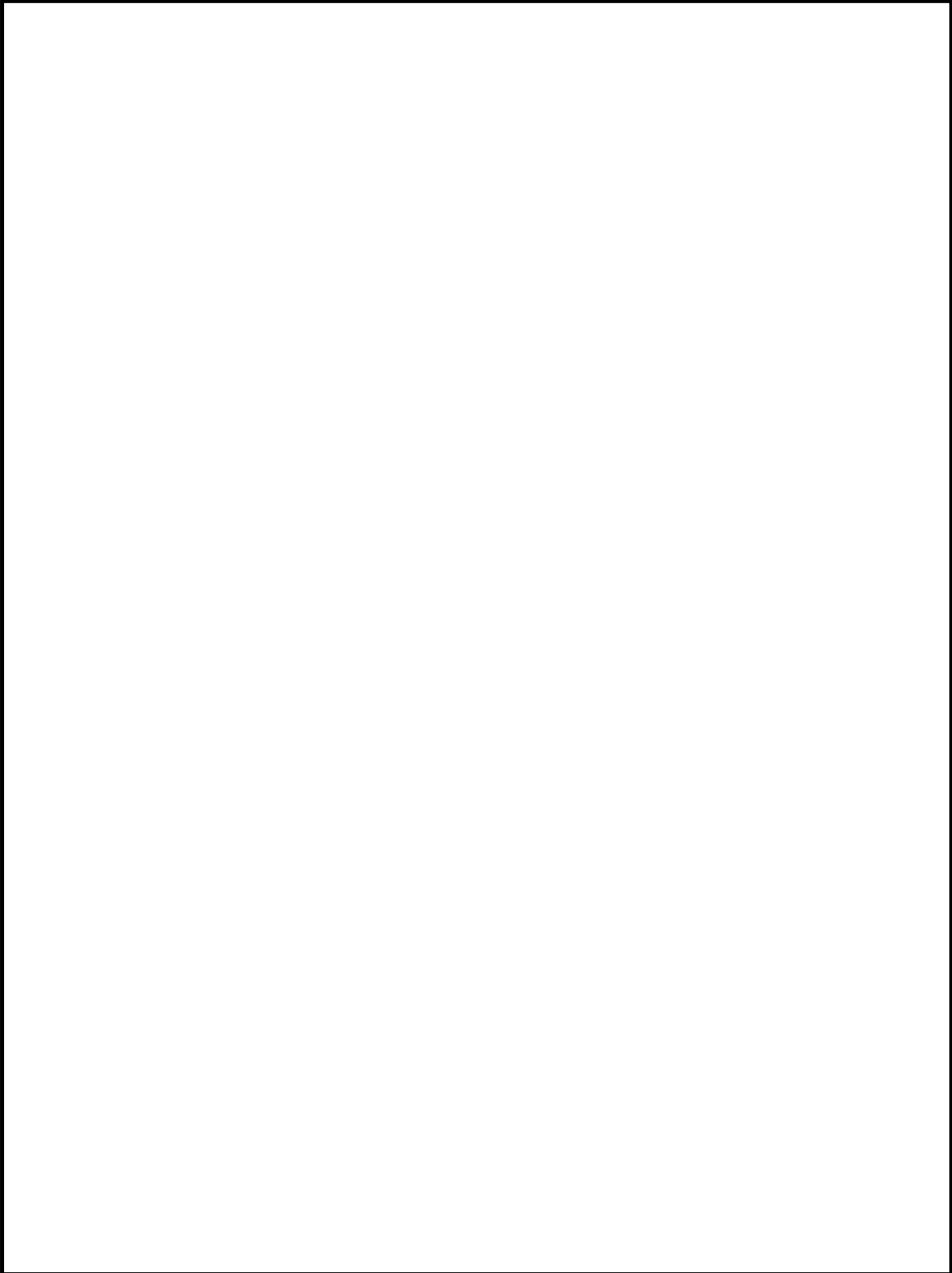
Сучасний світ орієнтований на цифрові технології, проте доступність інформації для людей з порушеннями зору залишається актуальною проблемою. Для таких людей основним способом отримання текстової інформації є шрифт Брайля, який використовується у друкованих та електронних пристроях. Однак, більшість існуючих рішень мають значні недоліки, такі як висока вартість, обмежена мобільність та складність у використанні.

Наявні пристрої для тактильного відтворення тексту, зокрема електронні дисплеї Брайля, мають високу ціну через складну конструкцію та обмежену серійну доступність. Крім того, більшість із них не забезпечують гнучкості у відтворенні тексту, що створює труднощі для користувачів у навчанні та сприйнятті інформації.

Для вирішення цієї проблеми в межах даної бакалаврської роботи запропоновано розробку мікропроцесорної системи, яка дозволяє ефективно перетворювати текст у рельєфно-крапковий формат. Розроблена система включає мікроконтролер, електромеханічні виконавчі елементи та драйвери керування, що забезпечують точне та швидке формування тактильного тексту. Також створено структурну та принципову схеми пристрою, розроблено алгоритми й програмне забезпечення для обробки введеного тексту та його відображення у вигляді символів Брайля.

Запропонована система може бути використана у сфері освіти, забезпечуючи доступність навчальних матеріалів для людей із вадами зору, а також сприяти подальшим дослідженням та розробкам у напрямку автоматизованих систем тактильного відтворення тексту.

					172.4391.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					172.4391.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Трешнюк А.І.			Аналітичний огляд систем тактильного відтворення тексту	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							7	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СИСТЕМ ТАКТИЛЬНОГО ВІДТВОРЕННЯ ТЕКСТУ

1.1. Обґрунтування актуальності розробки системи тактильного відтворення тексту

У процесі розробки мікропроцесорної системи для відтворення тексту у рельєфно-крапковому форматі (шрифт Брайля) важливо спиратися на комплексну базу теоретичних і практичних джерел, які охоплюють як основи функціонування шрифту Брайля, так і апаратно-програмні аспекти його реалізації.

Фундаментальні аспекти шрифту Брайля, його історія, структура та сучасне застосування розкриті у навчальному посібнику [2] та виданні Braille Authority of North America [9]. Вони є базою для розуміння логіки побудови рельєфно-крапкових символів та стандартів їх трансляції.

Методи трансформації текстової інформації у шрифт Брайля детально описані в працях [6], [7], [17] та [21], які акцентують увагу на алгоритмах перекодування та програмних реалізаціях, що дозволяє забезпечити автоматичність процесу обробки текстів.

Особливу увагу приділено тактильним інтерфейсам. Монографії Ковальчука О.М. [1] та Іванченка М.Г. [11] дають уявлення про технології тактильного відображення інформації, фізіологічні аспекти сприйняття та конструктивні рішення.

Застосування сучасних допоміжних технологій для людей з порушенням зору аналізується у працях Jones L.M. [12], Taylor G.N. [18], Harrison P.L. [20], де також подані результати практичних впроваджень інноваційних рішень у сфері Брайль-технологій.

Питання інтеграції систем, програмного забезпечення і мобільних додатків для роботи зі шрифтом Брайля розглядаються у роботах [15], [16] та [19], де висвітлено освітні аспекти та методичні підходи.

					172.4391.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Шрифт Брайля (рис. 1.1) – це тактильна система письма, розроблена в 1824 році для допомоги людям із вадами зору. Символи, які включають цифри, літери та спеціальні знаки, представлені серією крапок, які витиснені на щільному папері. Кожен символ представлено певним шаблоном із набору 2 x 3 крапок.

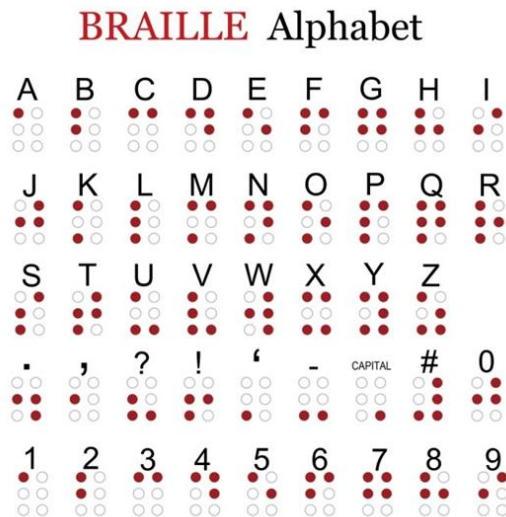


Рисунок 1.1 – Шрифт Брайля

За сучасних темпів розвитку інформаційних технологій інформаційний простір стане визначальним фактором соціальної інтеграції та розвитку особистості. Для людей з вадами зору, яких в Україні, за даними Держстату, більше 200 тисяч, отримати інформацію звичайним шляхом проблематично.

Метою розробки системи відтворення тактильного тексту є створення доступного середовища для людей з вадами зору. Вони стикаються зі значними перешкодами для доступу до інформації. Системи тактильного відтворення тексту усувають бар'єри, перетворюючи текст у тактильний формат, який можна «прочитати» дотиком. Система має вирішальне значення для сприяння незалежності людей із вадами зору.

Системи тактильного відтворення тексту надають доступ до інформації, перетворюючи друкований текст у тактильні формати, такі як шрифт Брайля або рельєфний текст. Вони дозволяють особам із вадами зору

працювати з навчальними матеріалами, літературою та професійними документами.

Забезпечуючи людей із вадами зору інструментами, необхідними для самостійного доступу до інформації, системи тактильного відтворення тексту дають їм змогу більш впевнено орієнтуватися в середовищі. Ця незалежність може призвести до більшої участі в освітній та соціальній діяльності, а також до кращих можливостей працевлаштування.

Розробка систем відтворення тактильного тексту заохочує прогрес у технологіях, включаючи інтеграцію штучного інтелекту та машинного навчання. Оскільки ці системи розвиваються, вони можуть включати такі функції, як переклад цифрового тексту в тактильні формати в реальному часі, що ще більше покращує доступність.

Хоча переваги тактильних систем відтворення тексту є значними, існує кілька недоліків:

- Витрати на розробку: Створення високоякісних систем тактильного відтворення дороговартісне.
- Навчання та ознайомлення: Користувачам може знадобитися навчання для ефективного використання тактильних систем, особливо якщо вони переходять із традиційних друкованих матеріалів.
- Стандартизація форматів: Поле відтворення тактильного тексту не має стандартизованих форматів, що може призвести до невідповідності якості та зручності використання. Встановлення універсальних інструкцій і стандартів має важливе значення для того, щоб користувачі могли надійно отримувати доступ до тактильних матеріалів і інтерпретувати їх.

Отже, системи тактильного відтворення тексту мають важливе значення для сприяння інклюзивності та доступності для людей з вадами зору. Вони не лише покращують навчальний досвід і сприяють незалежності, але й заохочують технологічні інновації у сфері доступності. Інвестуючи в

					172.4391.KP.ПЗ.P1	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

розробку та впровадження систем тактильного відтворення тексту, суспільство робить значний крок до створення більш справедливого та інклюзивного світу для всіх.

1.2. Огляд технологій рельєфно-крапкового відображення інформації

Механічні системи:

Фізичні штифти, плунжери чи інші рухомі елементи відповідають за рельєфні крапки Брайля за допомогою механічних систем. Ці елементи можуть мати електромагнітний, соленоїдний або п'єзoeлектричний привод. Якість механічних компонентів, точність їх виготовлення та похибки складання визначають точність і надійність цієї системи.

Здебільшого механічні системи відображення рельєфно-крапкової інформації виготовляються з металу, пластику чи інших міцних матеріалів. Для довговічності та стійкості до стирання застосовуються спеціальні покриття та обробка поверхні.



Рисунок 1.2 – Портативний дисплей Брайля

Портативний дисплей Брайля (рис. 1.2) – це невеликий електронний пристрій, призначений для людей з вадами зору. Він перетворює інформацію на шрифт Брайля та відображає її на тактильному екрані. Дисплей призначений для читання електронних книг, документів та роботи з програмами.

П'єзoeлектричні системи:

					172.4391.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

П'єзоелектричні приводи використовують п'єзоелектричний ефект, коли до деяких матеріалів прикладається електричне поле, вони змінюють свою форму. Цей принцип застосовано до рельєфу крапок Брайля. Основними параметрами системи є швидкість реакції і точність позиціонування, а також сила тактильного зворотного зв'язку і енергоспоживання.

Приводи виготовляються з п'єзоелектричної кераміки або п'єзоелектричних полімерів. Електроди наносяться на поверхню п'єзоелектричного матеріалу за допомогою тонкоплівкової технології.

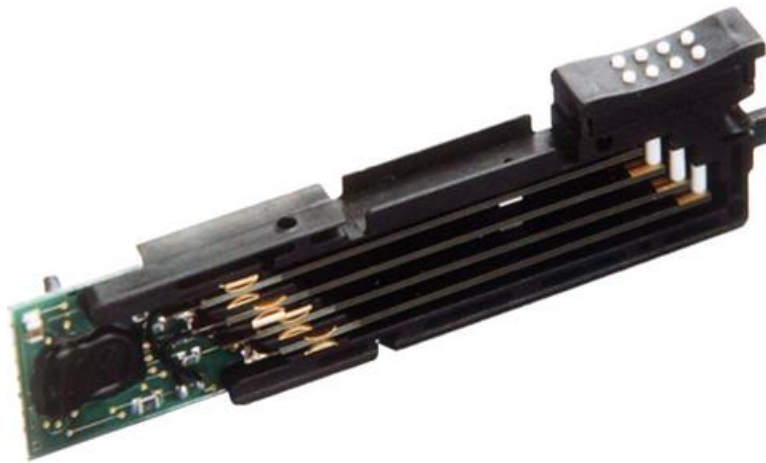


Рисунок 1.3 – П'єзоелектрична комірка Брайля

П'єзоелектрична комірка Брайля (рис. 1.3) – це мініатюрний пристрій, який використовує п'єзоелектричні матеріали для тактильного відтворення символів шрифту Брайля. Комірка є ключовим елементом тактильних дисплеїв, які дозволяють незрячим та слабоворим людям читати електронну інформацію.

Термоактивні системи:

Нагрівальні елементи нагрівають термоактивний матеріал (рис. 1.4), який змінює свою форму. Він контролюється швидкістю нагріву та охолодження матеріалу. Важливими параметрами системи є швидкість реакції, точність формування точок, енергоспоживання, а також досить широкий діапазон температур, при яких його можна використовувати.

					172.4391.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Рельєфні точки виготовляються з термоактивних полімерів, наприклад, термохромних матеріалів або матеріалів з пам'яттю форми. Нагрівальні елементи можуть бути виготовлені з резистивних дрітків, тонких плівок або будь-якого іншого струмопровідного матеріалу.

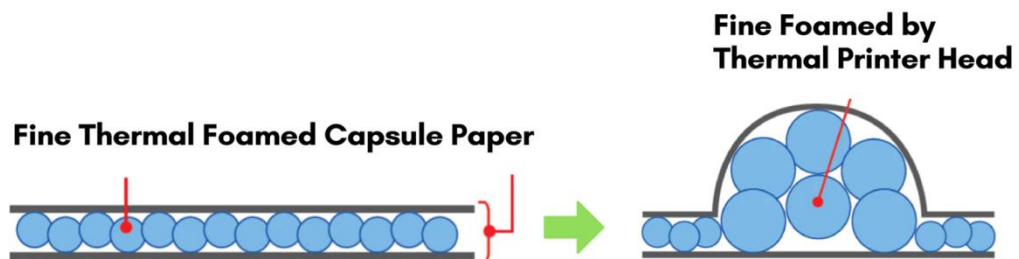


Рисунок 1.4 – Принцип роботи термоактивної рельєфно-крапкової системи відображення інформації

Електрореологічні системи:

Системи електрореології засновані на рідинах, які під впливом електричного поля змінюють свою в'язкість. Модуляція в'язкості дозволяє створювати рельєфні точки. Висока роздільна здатність, швидкість відгуку та гнучкість створення різноманітних тактильних ефектів є основними характеристиками цієї системи. Електрореологічні системи використовуються в сенсорних дисплеях для читання електронних книг і документів, інтерфейсах навігаційних систем і банкоматів, дисплеях для відображення графічної інформації.

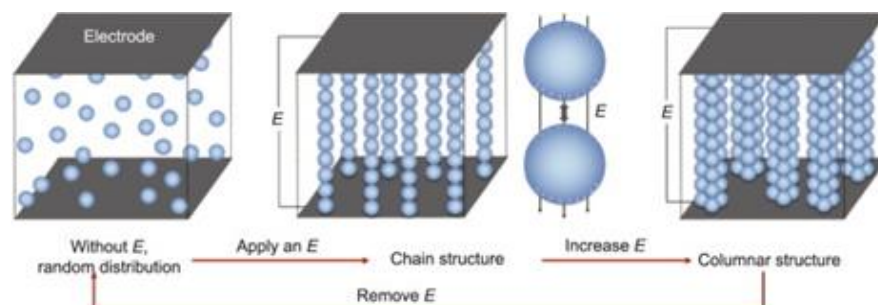


Рисунок 1.5 – Принцип роботи електрореологічної системи

1.3. Аналіз пристроїв, що використовують шрифт Брайля

Дисплеї Брайля: дисплеї перетворюють текст із комп'ютера чи мобільного пристрою на шрифт Брайля, що дозволяє користувачам читати цифровий вміст тактильно (рис. 1.6). Вони необхідні для доступу до електронних листів, документів та Інтернет-ресурсів.



Рисунок 1.6 – Дисплей Брайля

Принтери Брайля (рис. 1.7): принтери перетворюють цифровий текст у шрифт Брайля на папері, дозволяючи користувачам створювати фізичні документи шрифтом Брайля для читання та обміну.



Рисунок 1.7 – Принтер шрифту Брайля

Брайлівські клавіатури (рис. 1.8): клавіатури розроблені з використанням брайлівських символів на клавішах, що дозволяє користувачам вводити текст шрифтом Брайля безпосередньо на цифрових пристроях.



Рисунок 1.8 – Брайлівська клавіатура

Електронні книги Брайля: електронні книги відформатовано для сумісності з пристроями Брайля, що забезпечує доступ до літератури та навчальних матеріалів у доступному форматі.

Електронні машини Брайля (рис. 1.9): пристрої поєднують функції дисплеїв Брайля та пристроїв введення, що дозволяє користувачам читати та писати одночасно.



Рисунок 1.9 – Електронна машина Брайля

Тактильні інформаційні покажчики (рис. 1.10): інструменти допомагають користувачам орієнтуватися в навколишньому середовищі за допомогою тактильного зворотного зв'язку, покращуючи просторове усвідомлення.



Рисунок 1.10 – Тактильні інформаційні покажчики

Брайлівські планшети (рис. 1.11): планшети, які надають користувачам тактильний інтерфейс, часто мають оновлювані дисплеї Брайля для доступу до програм і цифрового вмісту.

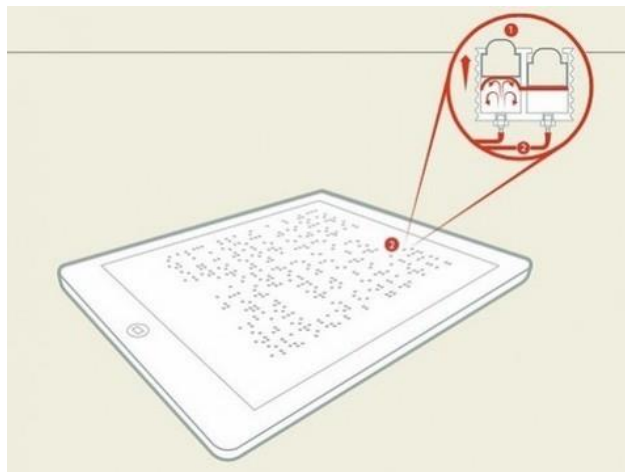


Рисунок 1.11 – Планшет Брайля

Тенденції вказують на зростаючу інтеграцію системи тактильного відтворення тексту із смартфонами та комп'ютерами, покращуючи

доступність завдяки сумісності з додатками та програмним забезпеченням, розробленим для людей із вадами зору.

Незважаючи на прогрес у технології Брайля, користувачі стикаються з недоліками:

- Вартість: більшість пристроїв є непомірно дорогими, що обмежує доступ для малозабезпечених осіб.
- Обмежена доступність: у багатьох регіонах доступ до пристроїв тактильного відтворення тексту обмежений.
- Технічний рівень: користувачі можуть зіткнутися з труднощами, навчаючись керувати складними пристроями.
- Проблеми сумісності: у міру розвитку технологій пристрої відтворення шрифту Брайля можуть не встигати за новим програмним забезпеченням і цифровими платформами.

Пристрої Брайля суттєво впливають на доступність та залучення людей, у яких є вади зору. Забезпечуючи необхідні інструменти для читання, письма та спілкування, ці пристрої дають змогу користувачам самостійно орієнтуватися в різних аспектах життя. Безперервний розвиток і розповсюдження технології точкового відтворення інформації є життєво важливою для розвитку інклюзивного суспільства, де кожен може процвітати, незалежно від своїх візуальних здібностей.

1.4. Порівняння існуючих систем та визначення їх недоліків

Системи Брайля служать важливим інструментом спілкування для людей із вадами зору, надаючи їм доступ до письмової інформації. З часом різноманітні технологічні досягнення призвели до розробки різноманітних систем Брайля.

1. Механічні системи

Особливості та переваги: Механічні системи відтворення шрифту Брайля засновані на традиційних тактильних методах письма, які

					172.4391.KP.ПЗ.P1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

використовують рельєфні точки для представлення літер і символів. Вони часто використовуються в книгах і етикетках шрифтом Брайля і широко доступні.

Механічні системи можуть бути непостійними, оскільки фізичні матеріали з часом можуть зношуватися, що призводить до появи блідих або нечитабельних точок. Крім того, вимога до спритності рук створює проблеми для деяких користувачів, особливо для тих, хто має обмежені моторні навички.

2. П'єзоелектричні системи Брайля

Особливості та переваги: У п'єзоелектричних системах використовуються невеликі приводи для створення тактильного зворотного зв'язку, що дозволяє користувачам відчувати рельєфні точки, які представляють символи Брайля.

Висока вартість п'єзоелектричних систем часто робить їх непрактичними для широкого використання. Крім того, складність інтеграції цих систем у повсякденне середовище може обмежити прийняття користувачами.

3. Термоактивні системи Брайля

Особливості та переваги: Термоактивні системи використовують тепло для створення рельєфних крапок Брайля, що забезпечує інтерактивне читання. Користувачі можуть відчувати точки, коли вони утворюються та зникають.

Непостійність рельєфних крапок, утворених змінами температури, становить значний недолік, оскільки користувачі не можуть покладатися на те, що текст залишиться незмінним. Крім того, потреба в джерелі живлення може обмежити зручність використання в певних контекстах.

4. Електрореологічні системи Брайля

					172.4391.KP.ПЗ.P1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Особливості та переваги: Електрореологічні системи використовують рідинну технологію, яка змінює в'язкість у відповідь на електричні поля, уможливаючи миттєве утворення тактильних точок.

Висока вартість і складність обмежують залучення користувачів, а залежність від джерел живлення може ще більше обмежити зручність використання. Крім того, залишається проблемою невизначеність щодо довговічності та надійності технології.

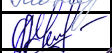
На основі виявлених недоліків у різних системах Брайля кілька рекомендацій можуть покращити їх функціональність і доступність:

- Розробка простої та надійної системи.
- Масове виробництво для зниження витрат.
- Створення мікропроцесорних систем.

Висновки по розділу

Порівняльний аналіз систем відтворення точкової інформації виявляє значні сильні та слабкі сторони їх нинішніх форм. Механічні системи пропонують доступність, але страждають від непостійності. П'єзоелектричні та термоактивні системи забезпечують інноваційні функції, але стикаються з проблемами, пов'язаними з вартістю та складністю. Електрореологічні системи є перспективними, але потребують подальшого розвитку та покращення доступності. Отже, актуальним завданням є необхідність створити доступну, зручну і надійну технологію відтворення шрифту Брайля, яка задовольнить всі потреби людей із вадами зору.

					172.4391.KP.ПЗ.P1	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					172.4391.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Трешнюк А.І.			Розробка апаратної частини системи тактильного відтворення тексту	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							20	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ ТАКТИЛЬНОГО ВІДТВОРЕННЯ ТЕКСТУ

2.1. Розробка структурної схеми системи

Система тактильного відтворення тексту поєднує апаратну та програмну складову для реалізації доступного інтерфейсу взаємодії людей з порушеннями зору. Система основана на мікроконтролері Arduino UNO, до якого підключено соленоїди, допоміжна схема керування, захисту та живлення. Розробка структурної схеми дозволяє узагальнити взаємозв'язки між основними елементами пристрою та зрозуміти функціональну логіку його роботи.

Пристрій отримує текстову інформацію, яка перетворюється у формат Брайля. Кожен символ складається з шести крапок. У розробленій схемі реалізовано керування шістьма соленоїдами, кожен з яких відповідає за одну позицію в символі. Підняття штиря соленоїда означає активну крапку, а його відсутність – неактивну.

Основні функціональні блоки системи:

Мікроконтролерний блок (Arduino UNO) – головний обчислювальний та керуючий центр, який приймає текстову інформацію, виконує її перетворення у формат Брайля та формує керувальні сигнали для соленоїдів.

Блок керувальних ключів (MOSFET транзистори) – забезпечує перемикання електричного струму через соленоїди відповідно до сигналів з Arduino.

Виконавчі елементи (соленоїди) – створюють фізичне рельєфне представлення символів шрифту Брайля за допомогою тактильних пінів.

Блок захисту (діоди) – виконує функцію захисту ключових компонентів від зворотної ЕРС, яка виникає під час розриву струму через індуктивні навантаження.

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Блок живлення – забезпечує живленням як саму плату мікроконтролера, так і виконавчі пристрої. Для соленоїдів передбачено окреме джерело живлення.

Інтерфейс введення – дозволяє користувачу ініціювати подання нового символу або передавати текст.

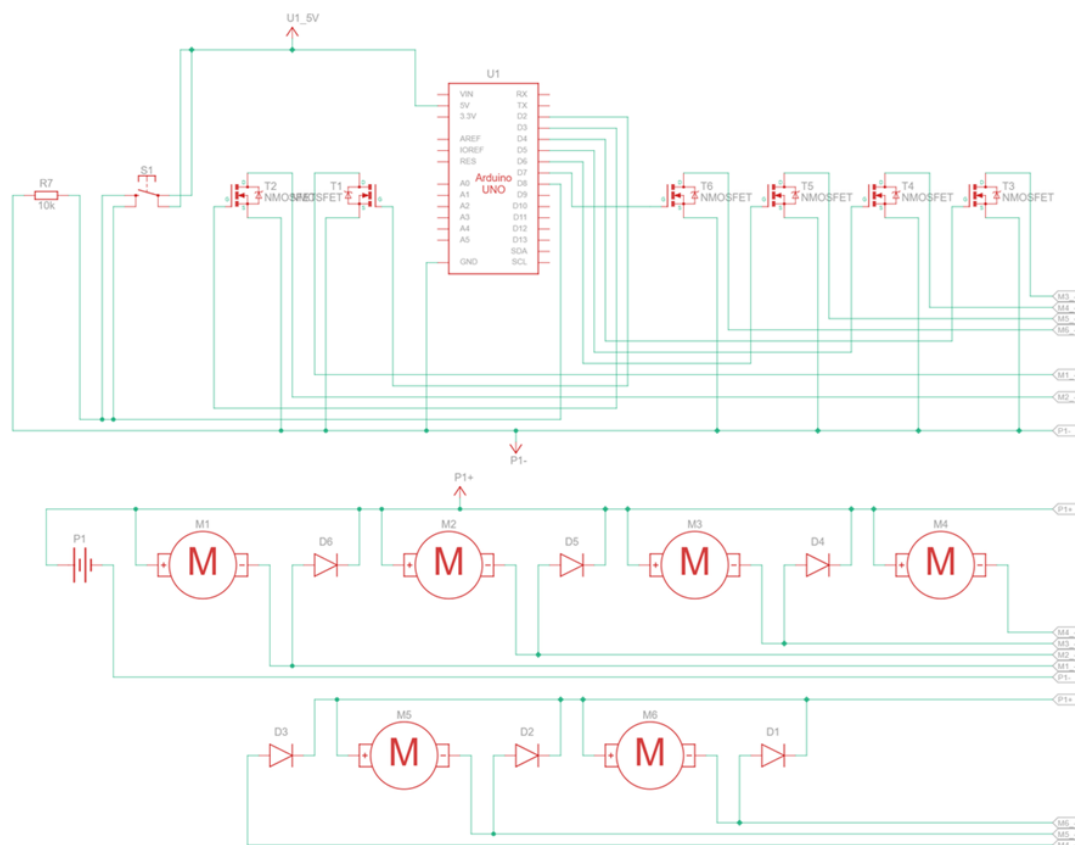


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи

На рис.2.1 зображено структурну реалізацію взаємодії компонентів:

- Arduino керує шістьма NMOS-транзисторами, кожен з яких комутує окремий соленоїд.
- Живлення соленоїдів здійснюється від зовнішнього джерела через силову шину.
- Кожен соленоїд має два з'єднання: один — до джерела живлення, інший — до стоку транзистора. Затвор транзистора з'єднаний із цифровим піном Arduino.

– Кнопка, під'єднана через резистор, може бути використана для тестування роботи системи вручну або переходу між символами.

Деталізація структурних зв'язків:

1. Мікроконтролер Arduino Uno

Arduino Uno обрано через простоту, розповсюдженість та підтримку великої кількості бібліотек. У схемі використовуються цифрові порти D2–D7 як виходи керування. Кожен з них підключений до затвора відповідного NMOS-транзистора (T1–T6) через пряме з'єднання.

2. Керування соленоїдами через NMOS-транзистори

На затвор транзистора подається логічна одиниця і соленоїд отримує живлення. Коли сигнал відсутній — транзистор закритий, і струм не проходить. Такий підхід дозволяє:

- зменшити навантаження на пін мікроконтролера,
- керувати більшими струмами,
- забезпечити швидке комутування.

3. Захист силових ланцюгів

У схемі реалізовано базовий захист соленоїдів. Діоди D1–D6 підключені анодами до колектора соленоїда, а катодами — до плюса живлення. Таким чином, при розмиканні ланцюга діоди поглинають імпульс зворотної ЕРС, запобігаючи пошкодженню транзисторів.

4. Механізм подачі живлення

Соленоїди живляться від окремого джерела постійного струму P1, яке подає напругу 6В. Таке рішення дозволяє одночасно активувати кілька соленоїдів без ризику перевантаження.

5. Формування рельєфу та його оновлення

Кожна комбінація символу Брайля кодується в Arduino у вигляді бітової маски. Наприклад, літера «А» представлена як 100000. Цей код передається через цифрові порти у вигляді сигналів керування

					172.4391.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

транзисторами, внаслідок чого піднімається відповідна крапка. Для переходу до наступного символу використовується таймер або ручне керування.

Розроблена структурна схема є надійною, функціональною та ефективною для реалізації завдання тактильного відтворення тексту. Вона дозволяє керувати індуктивними навантаженнями через мікроконтролер, має передбачені захисні елементи та забезпечує стабільну роботу навіть за умов активного перемикання елементів.

2.2. Вибір та обґрунтування елементної бази

Елементна база функціональні можливості, надійність і вартість пристрою. Усі компоненти повинні працювати в унісон, забезпечуючи коректне керування виконавчими елементами, захист електроніки та стабільне енергопостачання.

Arduino UNO – це відкрита платформа на базі мікроконтролера ATmega328P. Основними перевагами є простота використання, розширене програмне забезпечення (Arduino IDE), доступна документація та підтримка великої кількості бібліотек.



Характеристики Arduino UNO:

Напруга живлення: 5 В

Кількість цифрових входів/виходів: 14

Аналогові входи: 6

Частота: 16 МГц

Пам'ять Flash: 32 КБ

Обґрунтування вибору: Arduino UNO забезпечує достатню кількість цифрових виходів для керування 6 соленоїдами та дозволяє гнучко реалізувати програмну логіку обробки символів шрифту Брайля. Крім того, пристрій має можливість підключення через USB до ПК для налагодження.

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

Соленоїди відіграють роль механічних виконавчих елементів, які формують тактильні точки символів.



Характеристики:

Робоча напруга: 6 В

Сила струму: до 700 мА

Довжина ходу: 4 мм

Тип дії: зворотно-поступальний рух

Обґрунтування вибору: соленоїди

забезпечують надійне і швидке висування пінів. Їх компактні розміри дозволяють ефективно інтегрувати компоненти в 3D-друкований корпус.

Оскільки соленоїди споживають досить великий струм, безпосереднє керування з виходу Arduino неможливе. Тому застосовуються силові транзистори IRF520.



Характеристики:

Максимальний струм: 9,2 А

$R_{ds(on)}$: 0,270 Ом

Напруга затвора: 5 В

Обґрунтування вибору: Транзистори цього типу дозволяють ефективно комутувати навантаження з низькими втратами тепла та мають тривалий термін служби.

Під час вимикання соленоїда виникає електромагнітна індукція, що створює зворотну напругу. Щоб захистити транзистори від перенапруги, використовуються зворотно-паралельні діоди.



Характеристики:

Максимальна зворотна напруга: 50 В

Максимальний струм: 1 А

Обґрунтування вибору: Діоди 1N4001 широко використовуються для таких завдань. Вони недорогі, надійні та мають достатній запас по струму.

					172.4391.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Вибір джерела живлення залежить від сумарного струмового навантаження соленоїдів. Для одночасної роботи до 6 соленоїдів необхідний запас по струму не менше 3 А.



Характеристики:

Вхідна напруга: 110-240 В

Вихідна напруга: 5 В

Максимальний струм: 5 А

Ступінь захисту: IP20

Обґрунтування вибору: Імпульсні блоки забезпечують стабільне живлення з високим ККД і мають захист від перенавантаження та перегріву. Окремо може використовуватися стабілізатор напруги 5 В для живлення Arduino.

2.3. Схемотехнічне рішення та побудова моделі

Розробка схемотехнічного рішення системи тактильного відтворення дозволяє інтегрувати всі апаратні компоненти в єдину логічну електронну схему, яка забезпечує правильну послідовність дій для формування рельєфно-крапкового символу Брайля.

Електрична схема побудована навколо мікроконтролера Arduino UNO, який отримує текстову інформацію з зовнішнього джерела, аналізує її та подає сигнали керування на виконавчі елементи – соленоїди. Для комутації струму, необхідного соленоїдам, використовуються потужні n-канальні MOSFET транзистори, керовані цифровими виходами Arduino. Для захисту транзисторів від перенапруги, спричиненої самоіндукцією, у зворотному напрямку встановлено діоди типу 1N4001. Живлення подається від окремого джерела напругою 5 В, здатного забезпечити струм не менше 5 А, що достатньо для одночасної роботи всіх шести соленоїдів. Arduino живиться від USB. Всього використовується шість цифрових виходів Arduino (D2–D7), які через резистори керують затворами MOSFET транзисторів. Кожен

					172.4391.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

транзистор, у свою чергу, замикає ланцюг живлення відповідного соленоїда. Кінці обмоток соленоїдів підключаються до +5 В і до стоку MOSFET. У паралель до кожного соленоїда підключено діод, анод якого до стоку, а катод – до +5 В. Додаткові пін-коди Arduino (D8–D9) використовуються для підключення кнопок.

Побудова моделі на макетній платі дозволяє оперативно вносити зміни, тестувати окремі вузли та корегувати схему перед переходом до постійного монтажу. Для забезпечення стабільного з'єднання були використані провідники з жорсткою ізоляцією та фіксацією роз'ємів (рис.2.2).

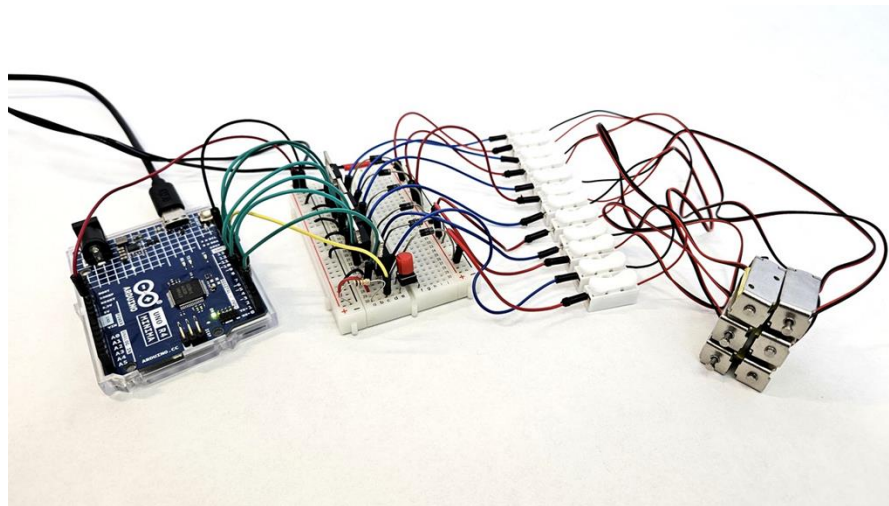


Рисунок 2.2 – Побудова моделі системи тактильного відтворення тексту

Блок-схема роботи пристрою

- Ініціалізація мікроконтролера.
- Очікування введення символу з інтерфейсу.
- Обробка отриманого символу та визначення відповідного розташування точок шрифту Брайля.
- Активація цифрових виходів Arduino.
- Відкриття транзисторів та живлення відповідних соленоїдів.
- Формування тактильного символу.
- Очікування нового введення.

Розширення: Віртуальна побудова моделі в програмному середовищі

Паралельно з побудовою фізичної моделі виконано моделювання схеми у середовищі Tinkercad. Це дозволило протестувати логіку керування, перевірити електричні з'єднання та уникнути помилок при складанні прототипу. Моделювання в середовищі Tinkercad (рис.2.3) дало можливість оцінити взаємодію між компонентами, побачити часові затримки активації соленоїдів та уточнити програмну частину керування.

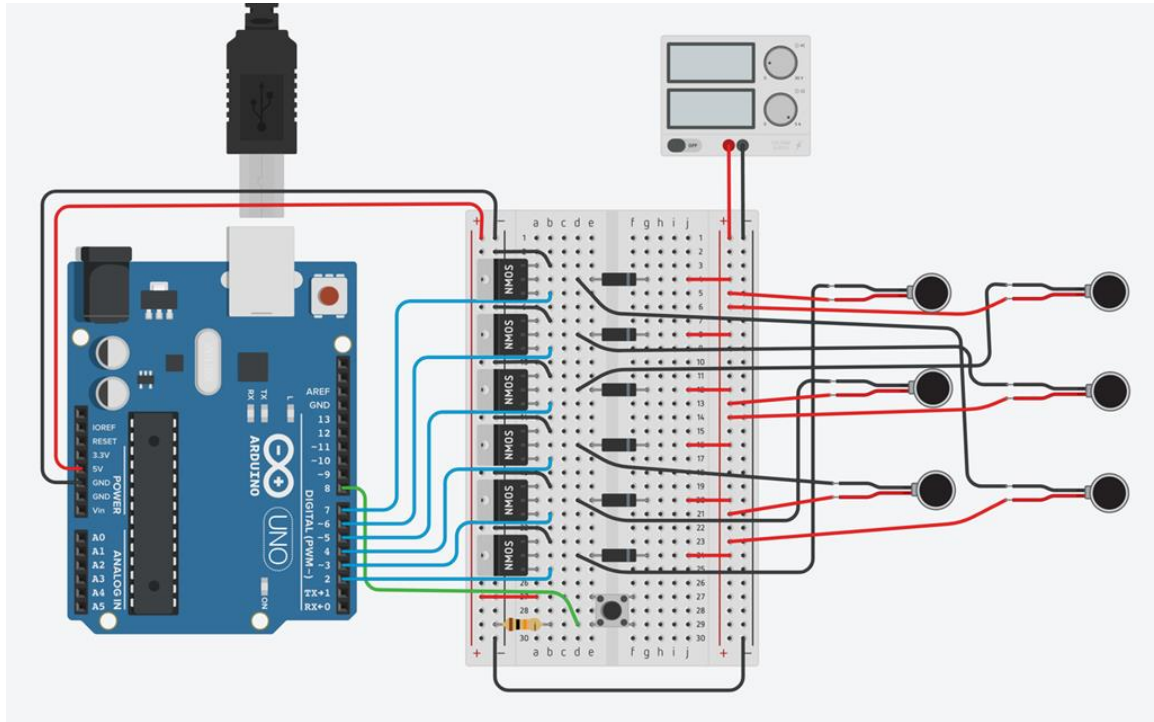


Рисунок 2.3 – Схема системи тактильного відтворення тексту

Схемотехнічне рішення дозволяє ефективно керувати механічними виконавчими елементами з урахуванням вимог до надійності, енергоефективності та захисту. Використання стандартних і доступних компонентів значно спрощує як прототипування, так і подальше виробництво пристрою. Побудова моделі як у фізичному, так і віртуальному середовищі забезпечила всебічну перевірку працездатності схеми перед переходом до виготовлення корпусу та тестування системи.

2.4. Прототипування та тестування механічної системи

Виготовлення механічної частини системи, інтеграція електроніки в корпус та тестування працездатності пристрою у реальних умовах є основним етапом створення системи тактильного відтворення тексту. Основною метою є ергономіка, точність позиціонування соленоїдів та сумісності механічних та електронних компонентів пристрою.

Корпус пристрою було спроектовано в програмному середовищі FreeCAD з урахуванням таких вимог:

- компактність та мобільність пристрою;
- зручність тактильного сприйняття символів;
- легкий доступ до електронних компонентів для обслуговування;
- фіксація соленоїдів у точному положенні, відповідному розташуванню крапок шрифту Брайля (2×3).

Корпус має два основних сегменти:

- Верхню частину із шістьма отворами для виступаючих сердечників соленоїдів, які формують символ (рис.2.4).

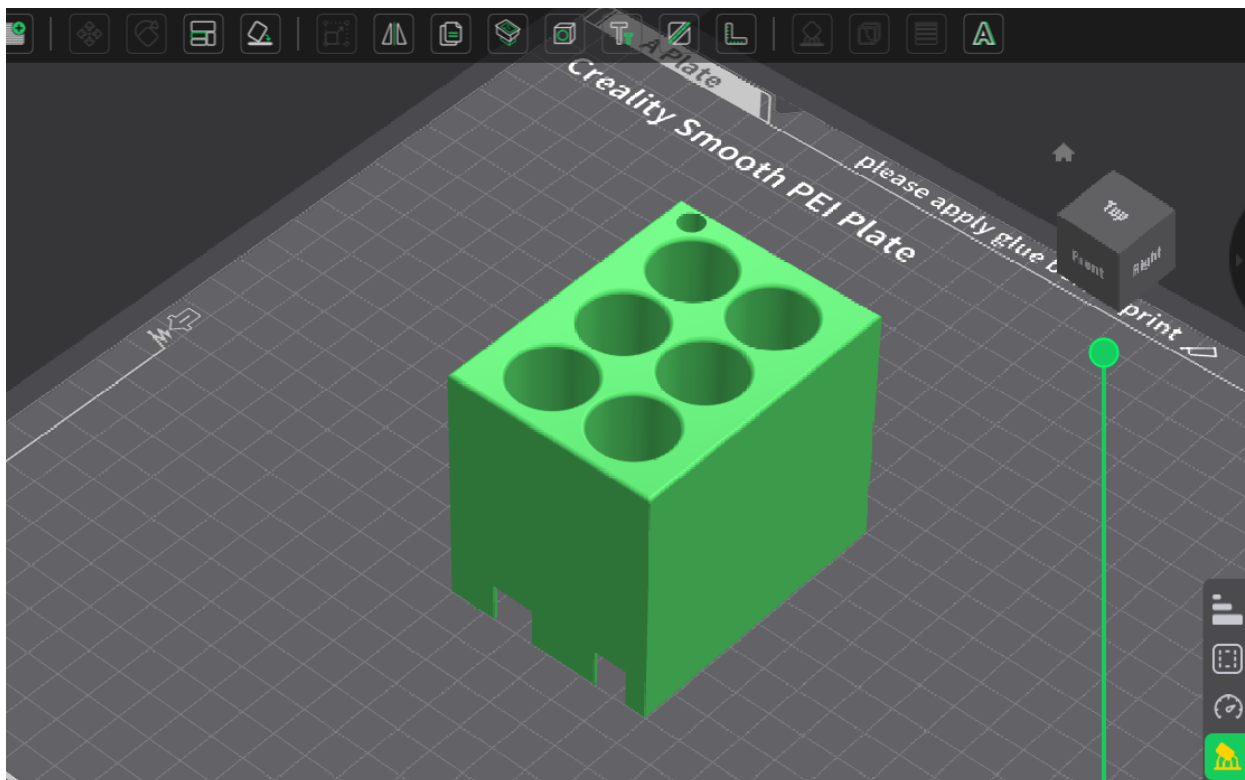


Рисунок 2.4 – Верхня частина корпусу

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Корпус для монтажу плати Arduino, транзисторного блоку, джерела живлення та дротових з'єднань (рис.2.5).

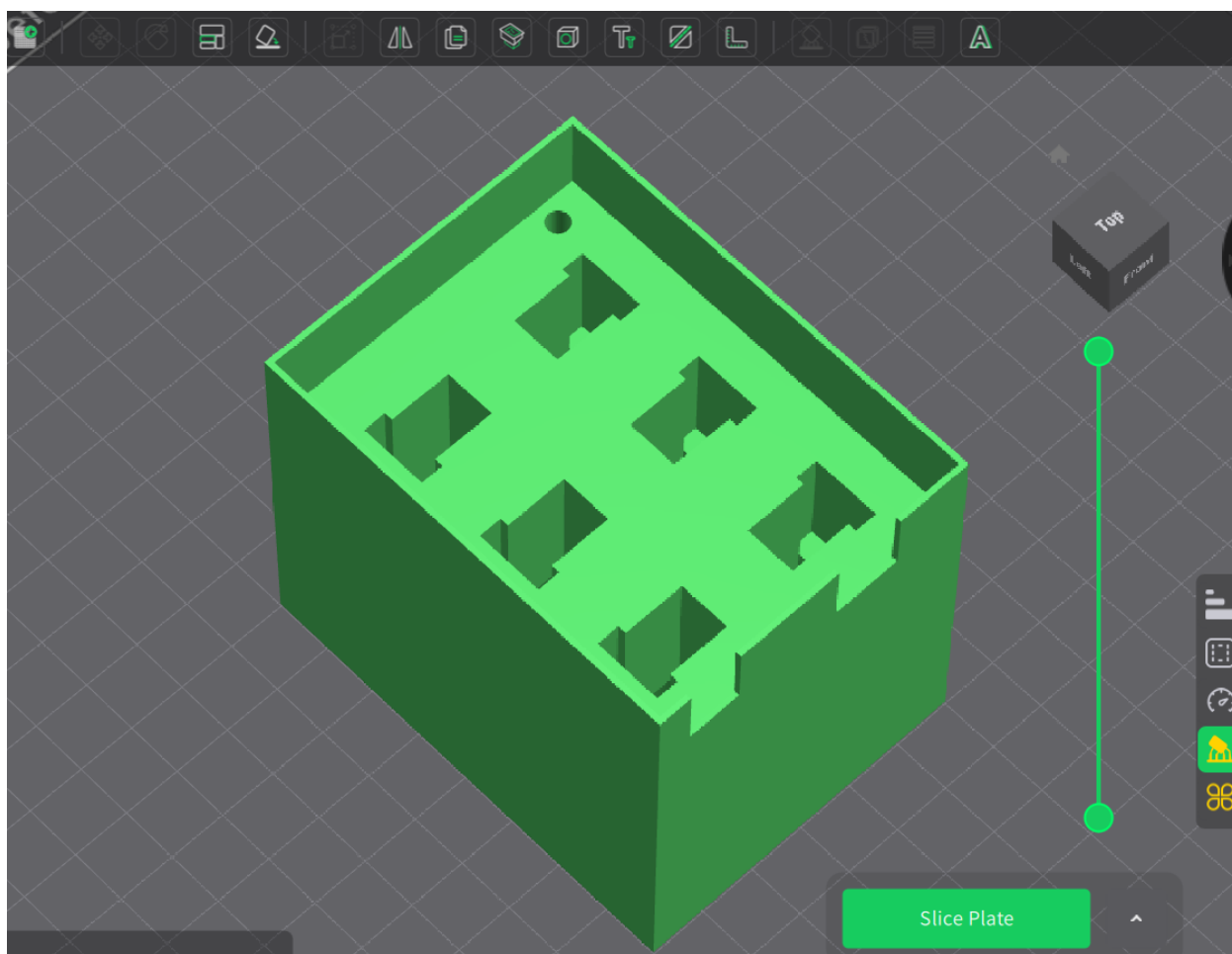


Рисунок 2.5 – Нижня частина корпусу

У моделі передбачені кріплення для всіх компонентів, вентиляційні отвори для охолодження. STL-файл 3D-моделі (рис.2.6) було підготовлено до друку із застосуванням пластиків ABS та PETG залежно від частини корпусу. ABS використано для частин, які піддаються більшому механічному навантаженню, а PETG — для панелей з меншою температурною деформацією.

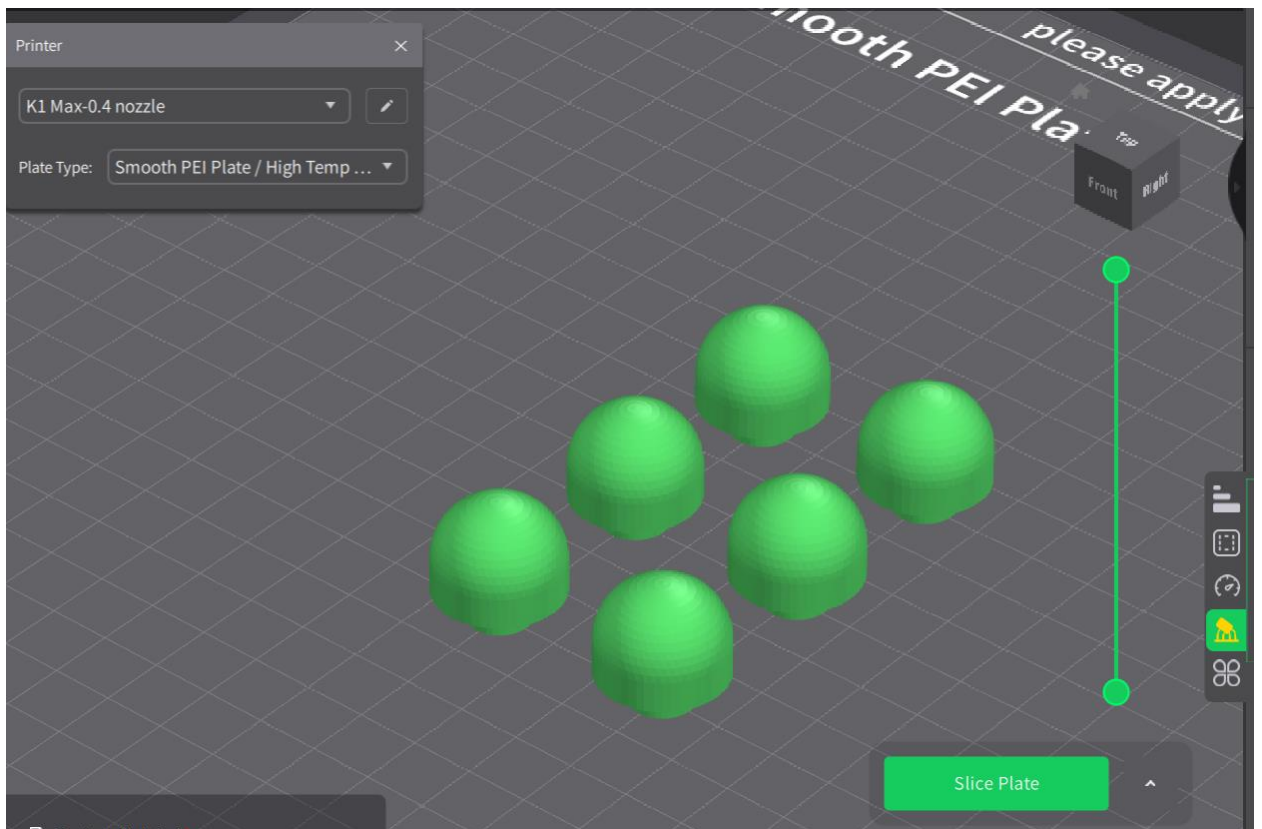


Рисунок 2.6 – 3D-модель точок для тактильного відтворення тексту

Друк здійснено на 3D-принтері Crealty K1-MAX із такими параметрами:

- матеріал: ABS (нижня частина), PETG (верхня панель);
- висота шару: 0,2 мм;
- заповнення: 25%;
- температура сопла: 240–250°C (PETG), 230–245°C (ABS);
- температура столу: 90°C (PETG), 100°C (ABS);
- швидкість друку: 50 мм/с;
- тривалість друку: ~6 годин.

Після завершення друку виконано видалення підтримок, полірування поверхонь та перевірка посадкових місць для компонентів. Деталі точно відповідали розмірам, визначеним у CAD-моделі (рис.2.7).

					172.4391.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 – Надрукований корпус

Електронна частина закріплюється на спеціальних стійках і направляючих всередині корпусу. З'єднання між платою керування, силовими компонентами і соленоїдами виконано за допомогою пайки. Живлення підключається через стандартний роз'єм живлення з вимикачем. Усі елементи фіксуються для уникнення вібрацій та пошкоджень при роботі.



Рисунок 2.8 – Система тактильного відтворення тексту

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Першочергове тестування проводилось у кілька етапів:

- Окреме тестування соленоїдів — перевірка сили висування, швидкості реакції та стабільності роботи.
- Функціональний тест системи — перевірка відображення конкретних літер Брайля через тестову програму Arduino.
- Циклічне навантаження — робота в безперервному режимі протягом 1 години для виявлення перегріву чи нестабільності.
- Тактильне сприйняття — залучення користувачів для перевірки зручності сприйняття рельєфу.

Результати та вдосконалення

- Під час тестування було виявлено кілька моментів, які потребували доопрацювання:
- необхідність амортизаційного шару під соленоїдами для зменшення шуму;
- посилення кріплення плати Arduino через вібрацію;
- оптимізація форми сердечника соленоїда для чіткішого формування крапки.

Прототипування та тестування механічної частини системи підтвердив правильність попереднього схемотехнічного проектування. 3D-друк за допомогою матеріалів ABS та PETG на принтері Creality K1-MAX забезпечив швидке й ефективне створення корпусу, що повністю відповідає вимогам до пристрою. Результати тестів засвідчили працездатність моделі, відкривши можливості для подальшої оптимізації та масштабування пристрою в майбутньому.

Висновки до розділу

У цьому розділі було повністю реалізовано розробку апаратної частини системи тактильного відтворення тексту. Було спроектовано структурну

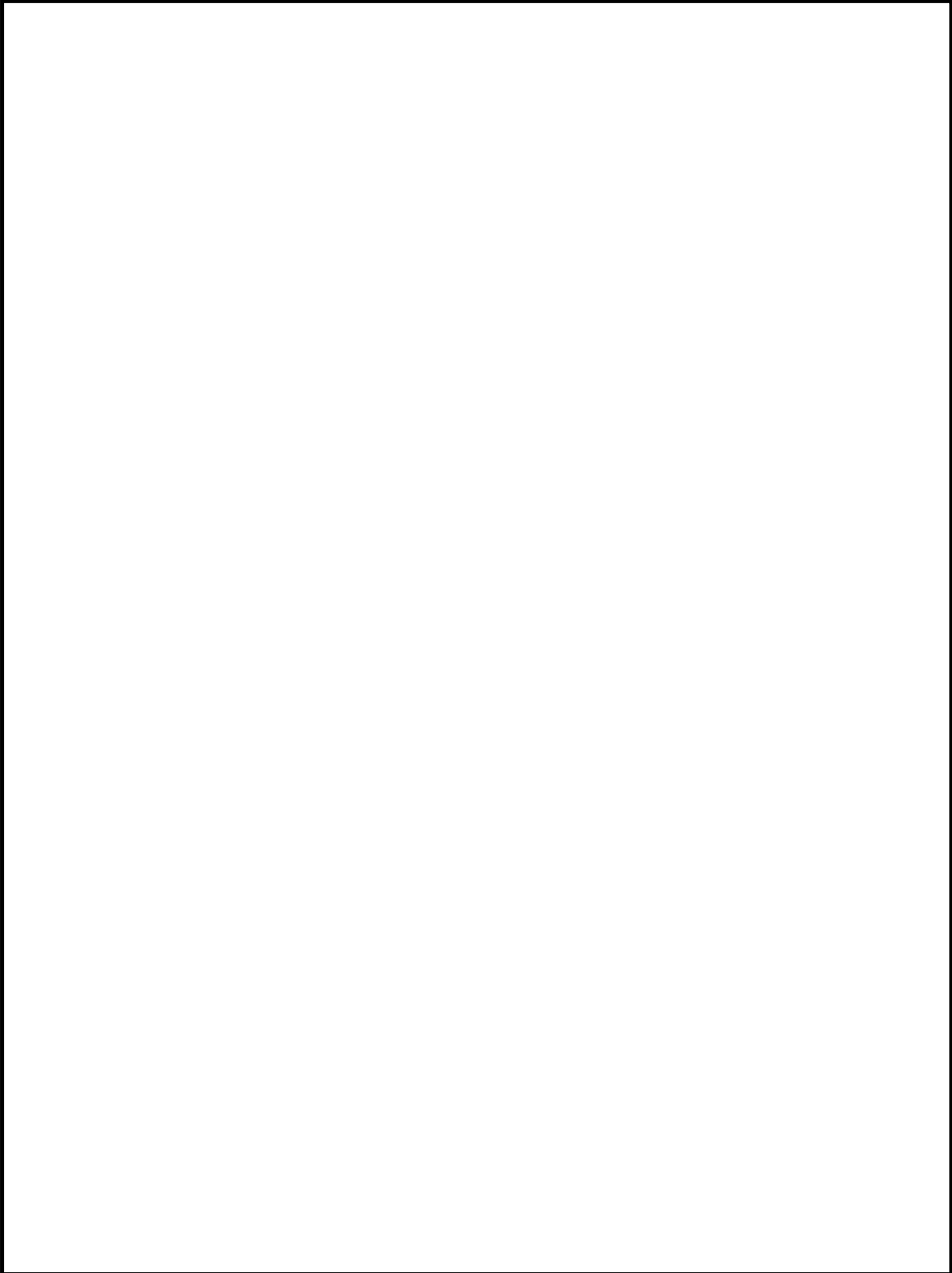
					172.4391.KP.ПЗ.P2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

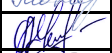
схему, яка дозволяє ефективно взаємодіяти всім основним компонентам пристрою. Ретельно підібрано елементну базу, враховуючи характеристики, сумісність та доступність.

Розроблене схемотехнічне рішення забезпечує стабільну та надійну роботу пристрою завдяки правильній організації керування соленоїдами через мікроконтролер Arduino. Електронна модель системи дозволила провести попередні перевірки функціональності ще до виготовлення фізичного зразка.

Застосування програмного забезпечення FreeCAD дало змогу точно спроєктувати конструкцію, яка відповідає ергономічним та функціональним вимогам. Виготовлення корпусу з ABS і PETG на 3D-принтері Creality K1-MAX забезпечило високу точність і відповідність до проєктних розмірів. Результати тестування підтвердили працездатність пристрою, виявили потенційні точки вдосконалення та відкрили шлях до подальших етапів розробки системи.

					172.4391.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		



					172.4391.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Трешнюк А.І.			Розробка програмної частини системи тактильного відтворення тексту	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							35	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ ТАКТИЛЬНОГО ВІДТВОРЕННЯ ТЕКСТУ

3.1. Архітектура програмного забезпечення

Програмне забезпечення системи тактильного відтворення тексту виконує функцію зв'язувального елементу між користувачем і апаратною частиною пристрою. Воно забезпечує прийом введеного тексту, його поетапну обробку, трансляцію у формат шрифту Брайля та виведення на механічний пристрій, побудований на базі мікроконтролера Arduino Uno та шести соленоїдів.

Особливістю архітектури розробленої системи є доступність та універсальність, що досягається через використання Serial Monitor в Arduino IDE для введення тексту. Такий підхід дозволяє обійтися без додаткового програмного забезпечення, використовуючи лише вбудовані інструменти середовища розробки.



Рисунок 3.1 – Структурна схема

Архітектура програмного забезпечення включає три основні модулі:

- Модуль введення тексту - користувач вводить текст за допомогою Serial Monitor і дані надсилаються на Arduino
- Модуль обробки символів - програма Arduino зчитує символ, переводить його в нижній регістр (якщо введений у верхньому), визначає його позицію в алфавіті, і за цією позицією звертається до таблиці відповідності *braille*[26][6], в якій кожна літера має свій шестибітний код для формування символу шрифтом Брайля.
- Модуль управління соленоїдами - на основі отриманої бітової маски система активує відповідні цифрові виходи (D2–D7), які керують соленоїдами. Після кожного символу система очікує натискання кнопки (підключеної до D8) перед переходом до наступної букви.

3.2. Алгоритм обробки тексту та його конвертації у тактильний формат

Одним із ключових завдань при створенні системи тактильного виводу тексту є розробка ефективного алгоритму перетворення звичайного алфавітного тексту у формат, придатний для виведення за допомогою шрифту Брайля. Цей процес включає декілька послідовних етапів, які реалізовані частково у програмному забезпеченні на ПК, а частково — на мікроконтролері Arduino.

Першим кроком є отримання тексту, який користувач вводить через інтерфейс програми. У поточній версії системи підтримуються лише символи латинського алфавіту нижнього регістру (від а до z), тому доцільно одразу здійснювати нормалізацію введеного тексту, а саме:

- переведення усіх букв у нижній регістр;
- фільтрацію непідтримуваних символів (цифри, розділові знаки, спецсимволи тощо).

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Після нормалізації кожна літера зі введеного тексту аналізується для визначення її позиції у латинському алфавіті. Це потрібно для доступу до відповідного рядка у таблиці *braille[26][6]*, яка зберігається у пам'яті Arduino:

$a \rightarrow \text{індекс } 0 \rightarrow \{1,0,0,0,0,0\}$

$b \rightarrow \text{індекс } 1 \rightarrow \{1,1,0,0,0,0\}$

$c \rightarrow \text{індекс } 2 \rightarrow \{1,0,0,1,0,0\}$

$d \rightarrow \text{індекс } 3 \rightarrow \{1,0,0,1,1,0\}$

$e \rightarrow \text{індекс } 4 \rightarrow \{1,0,0,0,1,0\}$

$f \rightarrow \text{індекс } 5 \rightarrow \{1,1,0,1,0,0\}$

$g \rightarrow \text{індекс } 6 \rightarrow \{1,1,0,1,1,0\}$

$h \rightarrow \text{індекс } 7 \rightarrow \{1,1,0,0,1,0\}$

$i \rightarrow \text{індекс } 8 \rightarrow \{0,1,0,1,0,0\}$

$j \rightarrow \text{індекс } 9 \rightarrow \{0,1,0,1,1,0\}$

$k \rightarrow \text{індекс } 10 \rightarrow \{1,0,1,0,0,0\}$

$l \rightarrow \text{індекс } 11 \rightarrow \{1,1,1,0,0,0\}$

$m \rightarrow \text{індекс } 12 \rightarrow \{1,0,1,1,0,0\}$

$n \rightarrow \text{індекс } 13 \rightarrow \{1,0,1,1,1,0\}$

$o \rightarrow \text{індекс } 14 \rightarrow \{1,0,1,0,1,0\}$

$p \rightarrow \text{індекс } 15 \rightarrow \{1,1,1,1,0,0\}$

$q \rightarrow \text{індекс } 16 \rightarrow \{1,1,1,1,1,0\}$

$r \rightarrow \text{індекс } 17 \rightarrow \{1,1,1,0,1,0\}$

$s \rightarrow \text{індекс } 18 \rightarrow \{0,1,1,1,0,0\}$

$t \rightarrow \text{індекс } 19 \rightarrow \{0,1,1,1,1,0\}$

$u \rightarrow \text{індекс } 20 \rightarrow \{1,0,1,0,0,1\}$

$v \rightarrow \text{індекс } 21 \rightarrow \{1,1,1,0,0,1\}$

$w \rightarrow \text{індекс } 22 \rightarrow \{0,1,0,1,1,1\}$

$x \rightarrow \text{індекс } 23 \rightarrow \{1,0,1,1,0,1\}$

$y \rightarrow \text{індекс } 24 \rightarrow \{1,0,1,1,1,1\}$

$$z \rightarrow \text{індекс } 25 \rightarrow \{1,0,1,0,1,1\}$$

Кожна літера замінюється на масив із шести символів (0 або 1), де:

- 1 означає, що відповідна точка шрифту Брайля повинна бути піднята
- 0 — точка не активується.

Для знаходження індексу літери в масиві *alphabet[]* спочатку використовується простий перебір символів. Після того як відповідна бінарна маска символу отримана, вона використовується для активації шести цифрових виходів Arduino (пінів 2-7), кожен з яких підключений до одного соленоїда. Вивід команди відбувається за допомогою команди:

digitalWrite(controlPins[k], braille[index][k]);

де *controlPins* — масив пінів,

braille — матриця Брайля,

k — індекс точки від 0 до 5.

Для кожної літери формується набір сигналів керування, які фізично формують на поверхні пристрою один символ шрифтом Брайля. Після відображення одного символу система очікує на натискання кнопки, що сигналізує готовність користувача до переходу до наступної букви. Це реалізовано за допомогою циклу очікування:

while(digitalRead(buttonPin) == LOW) {};

та затримки для уникнення випадкових повторних натискань:

delay(1000);

Алгоритм перетворення тексту у тактильний формат забезпечує покрокову передачу та відображення літер, точну відповідність кожної літери коду шрифту Брайля та адаптацію під апаратну реалізацію із використанням шести соленоїдів.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

3.3. Реалізація управління апаратними модулями

Для виведення символів у шрифті Брайля використовується механічна реалізація з шістьма соленоїдами, які керуються мікроконтролером Arduino Uno. Кожен соленоїд відповідає за одну з шести точок, які формують символ шрифту Брайля.

Основою системи є плата Arduino Uno, яка має достатню кількість цифрових виходів для керування соленоїдами. Соленоїди підключені до цифрових пінів 2–7, а кнопка — до піна 8. Всі виводи налаштовуються відповідно у функції *setup()*:

```
for(int i = 0; i <= 5; i++){  
  pinMode(controlPins[i], OUTPUT);  
}  
pinMode(buttonPin, INPUT);
```

Прошивка реалізує наступний алгоритм:

- Зчитування кожного символу зі змінної *text*;
- Визначення відповідної бінарної маски із таблиці Брайля;
- Активація цифрових пінів згідно з цією маскою;
- Очікування натискання кнопки перед переходом до наступного символу.

Фізичне керування здійснюється командою:

```
digitalWrite(controlPins[k], braille[index][k]);
```

Цей виклик повторюється для кожного з шести елементів (0–5). Оскільки соленоїди мають обмеження по часу увімкнення (через ризик перегріву обмотки), між активаціями передбачено паузу. Її реалізовано через затримку:

```
delay(1000);
```

Для захисту також передбачено можливість додатково реалізувати таймер на вимкнення або використання драйвера. Після відображення кожної літери система призупиняє виконання і чекає на натискання кнопки:

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```
while(digitalRead(buttonPin) == LOW) {};
```

Цей режим дозволяє користувачеві читати текст у зручному темпі, а також уникнути механічного "перекриття" символів. Для відлагодження і перевірки правильності обробки символів використовується послідовний порт:

```
Serial.print(letter);
```

```
Serial.println(index);
```

Це дозволяє бачити, який символ зараз виводиться, і чи правильно визначено його позицію у масиві. Для демонстрації роботи введемо слово *Test* у монітор порту (рис.3.2)

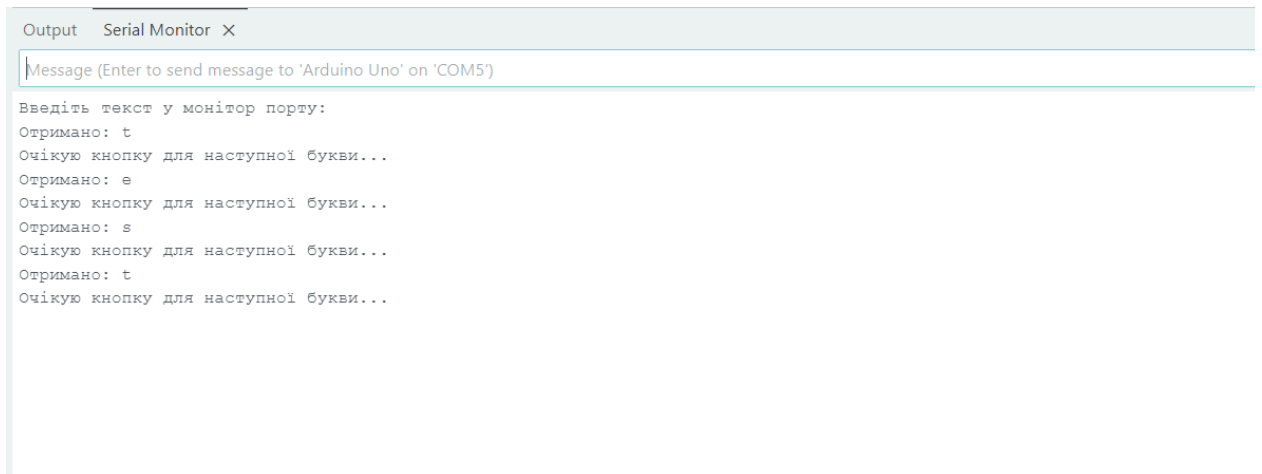


Рисунок 3.2 – Тестування системи тактильного відтворення тексту

Таким чином, управління апаратними модулями системи реалізоване через надійну схему з використанням цифрових виходів мікроконтролера Arduino. Соленоїди вмикаються відповідно до бінарного коду символу шрифту Брайля, а цикл управління синхронізується з користувачем через кнопку підтвердження.

3.4. Розробка інтерфейсу користувача, тестування та оптимізація програмного забезпечення

Введення тексту реалізовано безпосередньо через монітор порту Arduino IDE. Монітор порту дозволяє швидко передавати текст на Arduino без встановлення додаткового програмного забезпечення, виводити поточну інформацію про стан пристрою, налагоджувати роботу системи в середовищі розробки. Цей варіант є ефективним під час розробки, демонстрації роботи та тестування.

Після запуску системи користувач відкриває Serial Monitor в Arduino IDE, встановлює швидкість з'єднання, після чого може ввести будь-який рядок з літер латинського алфавіту. Кожен символ зчитується Arduino по одному, потім конвертується у нижній регістр (якщо потрібно), перетворюється у відповідну бінарну маску шрифту Брайля та виводиться на соленоїдну матрицю. Після відображення система очікує натискання кнопки, що дозволяє користувачеві контролювати темп прочитання.

Тестування системи точного відображення тексту:

- Одиночне введення — окремі літери: *a*, *m*, *x* (рис.3.3).



Рисунок 3.3 – Відображення літер *a*, *m*, *x*

- Рядки — слова: *test*, *arduino* (рис.3.4).



Рисунок 3.4 – Відображення слова *test*

- Змішані регістри — *Andrew, TesT* (рис.3.5).

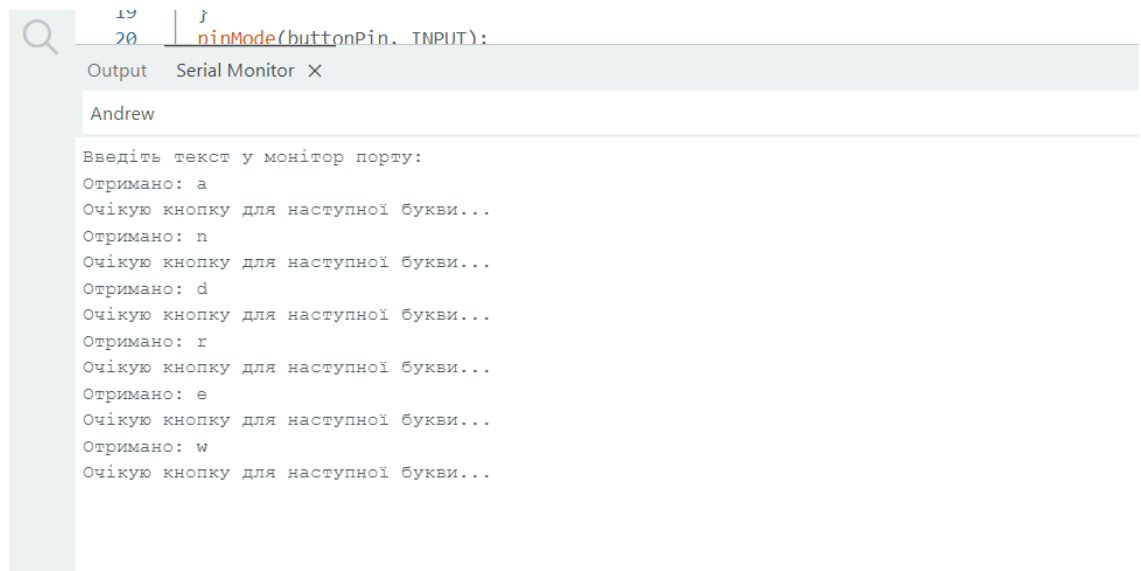


Рисунок 3.5 – Відображення слова *Andrew* у моніторі порту

Недопустимі символи (цифри, пробіли, розділові знаки) система ігнорує. Результати тестування показали, що система стабільно зчитує та обробляє текст із монітора порту, забезпечує точне виведення кожної літери, і не допускає збоїв при великій кількості введенень. Під час тестування та вдосконалення програмного коду було реалізовано кілька важливих оптимізацій:

- Замість циклічного пошуку кожного символу в алфавіті застосовано:

index = letter - 'a';

- Автоматичне приведення до нижнього регістру:

```
if (letter >= 'A' && letter <= 'Z') {  
    letter = letter + 32;  
}
```

- Кожна літера дублюється у вікні монітора, система повідомляє, яку саме букву зараз обробляє та коли очікується натискання кнопки.
- Усунення зайвих затримок
- Час затримки після натискання кнопки було скорочено до 500 мс для пришвидшення роботи, зберігаючи при цьому зручність користування.

Висновки до розділу

Реалізовано повний цикл розробки програмного забезпечення для системи тактильного відтворення тексту на основі шрифту Брайля. Сформовано архітектуру, побудовану на прямій взаємодії користувача з мікроконтролером Arduino Uno через монітор порту Arduino IDE, що дозволило уникнути складних інтерфейсних рішень і зосередитися на надійній реалізації основної функціональності.

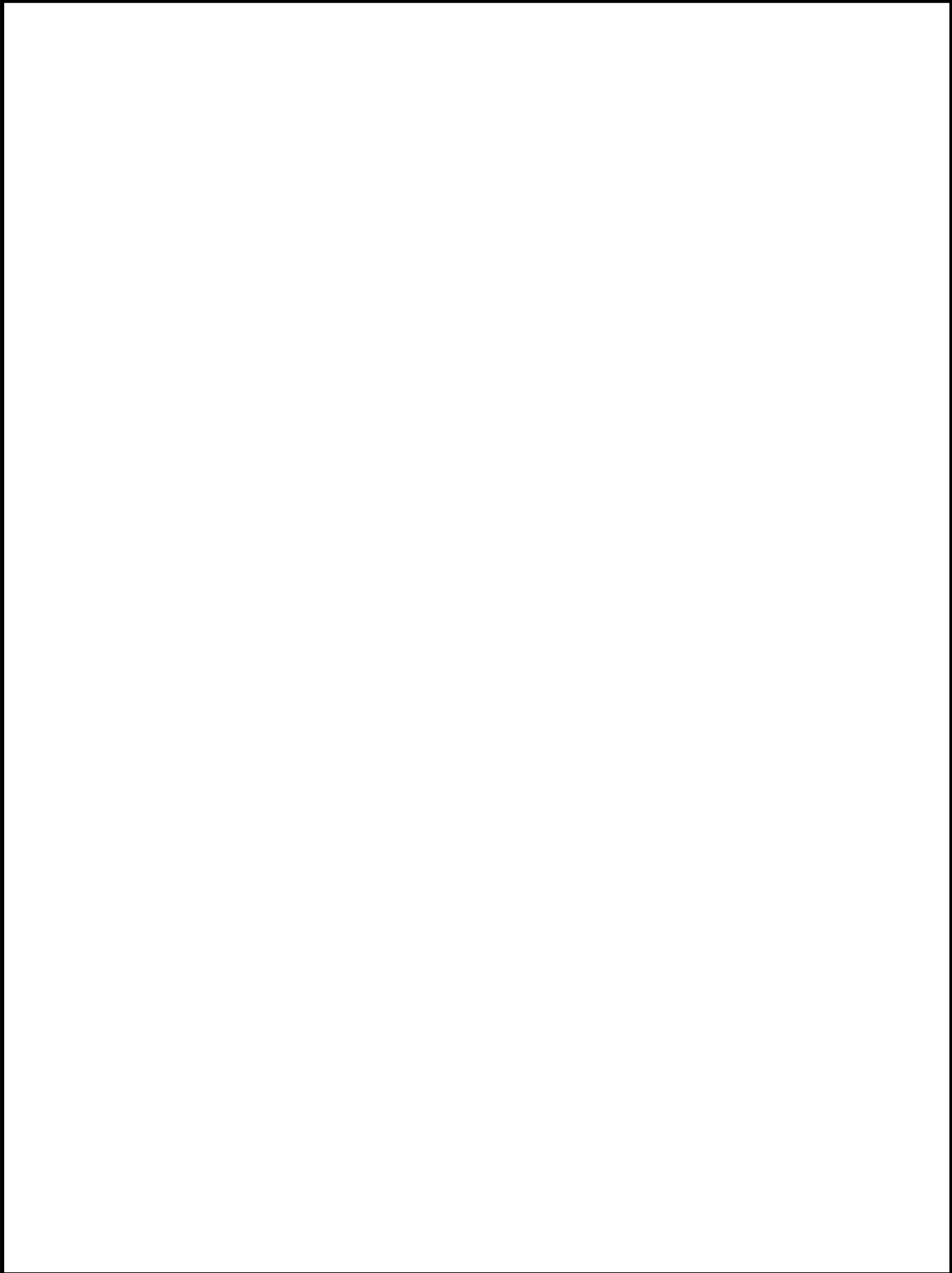
Також розроблено архітектуру програмного забезпечення, яка включає послідовну передачу даних, обробку введених символів та керування виконавчими пристроями. Вибір простого, інтуїтивного підходу до вводу тексту дозволив забезпечити універсальність системи та зручність її використання. Описано побудову таблиці відповідностей, яка містить бітові шаблони для кожної літери латинського алфавіту. Алгоритм показав себе стабільним, а реалізація пошуку через обчислення індексу символу дозволила підвищити ефективність. Здійснено оптимізацію прошивки, організовано логіку затримки та підтвердження від користувача, що дало

					172.4391.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

змогу уникнути перекриття символів і перегріву виконавчих елементів. Було детально розглянуто процес тестування системи, оптимізації коду, а також адаптацію введення до використання Serial Monitor. Проведені тести підтвердили стабільність роботи системи при роботі з латинським алфавітом, а реалізовані заходи захисту та покращення логіки зробили пристрій більш надійним і зручним у використанні.

Отже, розроблене програмне забезпечення повністю виконує поставлені функціональні вимоги: забезпечує коректне перетворення тексту у шрифт Брайля, підтримує покрокову взаємодію з користувачем, є простим у використанні та легко адаптується для подальшого вдосконалення.

					172.4391.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					172.4391.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Трешнюк А.І.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					46	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Вступ

Охорона праці – це сукупність правових, економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та профілактично-медичних заходів, спрямованих на забезпечення збереження життя, зміцнення здоров'я та підтримання працездатності персоналу під час здійснення трудової діяльності.

Роботодавцем вважається власник організації або уповноважений ним представник, незалежно від форми власності чи напряму господарювання, а також фізична особа, яка залучає працівників на умовах найму.

Працівник – це особа, яка виконує свої функціональні обов'язки на основі трудового договору (контракту) в межах підприємства, установи або іншої організаційної структури.

Сфера застосування законодавства:

Норми Закону України щодо охорони праці поширюються на всі форми господарської діяльності, включаючи юридичних осіб і фізичних осіб-підприємців, які використовують працю найманих осіб, а також охоплюють усіх працюючих.

Правове регулювання охорони праці здійснюється на основі таких актів:

- Закон України «Про охорону праці»;
- Кодекс законів про працю України;
- Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання»;
- Інші підзаконні нормативні документи.

У випадках, коли міжнародні договори, ратифіковані Україною, встановлюють інші вимоги, пріоритет надається нормам міжнародного права.

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Державна стратегія у сфері охорони праці ґрунтується на Конституції України та передбачає створення безпечних умов праці, профілактику виробничого травматизму та професійних недуг.

Ключові засади державної політики в галузі охорони праці:

- перевага збереження життя та здоров'я працівника;
- повна відповідальність роботодавця за стан безпеки на робочих місцях;
- постійний моніторинг і контроль технічної безпеки;
- реалізація національних, галузевих та регіональних ініціатив у сфері охорони праці;
- забезпечення соціального захисту осіб, постраждалих на виробництві;
- уніфіковані вимоги до охорони праці для всіх суб'єктів господарювання;
- пристосування робочих умов до фізіологічних та психоемоційних можливостей персоналу;
- економічна мотивація роботодавців до дотримання вимог безпеки, а також державне фінансування профілактичних заходів;
- підготовка, навчання та професійне вдосконалення працівників у сфері охорони праці;
- узгодження дій між державними структурами, роботодавцями та профспілками;
- використання міжнародної практики та активна співпраця з відповідними світовими організаціями.

4.2. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів впливаючих на людину, при розробці мікропроцесорної системи

Небезпечний виробничий фактор – це впливовий елемент у робочому середовищі, здатний за певних обставин спричинити травмування працівника

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

або раптове серйозне погіршення його фізичного стану. Часто наслідком дії такого фактора стає нещасний випадок на виробництві.

У процесі розробки технічного пристрою одним із найкритичніших ризиків є можливість ураження електричним струмом.

Електрострум, проходячи крізь тіло людини, може викликати серйозні пошкодження організму, аж до смертельного результату. Характер впливу залежить від низки чинників: сили струму, часу його проходження, виду струму (змінний або постійний), частоти, електричного опору тіла та величини прикладеної напруги.

Ураження електричним струмом поділяють на два основних різновиди:

Місцеві електротравми – термічні ураження, характерні сліди на шкірі, металізація шкірного покриву внаслідок впливу електричної дуги, механічні травми, електроофтальмія;

Електричні удари, що мають чотири ступені тяжкості:

I ступінь – мимовільне скорочення м'язів без втрати свідомості;

II ступінь – судомні явища з втратою свідомості;

III ступінь – непритомність із порушенням серцевого ритму;

IV ступінь – клінічна смерть.

Постійний струм вважається менш небезпечним порівняно зі змінним на частоті 50 Гц у 4–5 разів, але це стосується тільки випадків, коли напруга не перевищує 500 В. При перевищенні цього порогу постійний струм становить ще більшу загрозу.

Основні діапазони небезпечних значень сили змінного струму (50 Гц):

0,6–1,5 мА – межа відчуття;

10–15 мА – “струм, що не відпускає” (судоми рук, голосових зв’язок);

25–50 мА – негативна дія на дихальні м'язи, можливе припинення дихання;

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

50–100 мА – струм, що спричиняє фібриляцію серця та може викликати його зупинку.

Найпоширеніші причини електротравматизму:

- випадкове доторкання до струмопровідних частин обладнання;
- поява напруги на металевих елементах внаслідок пошкодження ізоляції;
- подача напруги на обладнання, яке повинно бути знеструмлене;
- виникнення крокової напруги при замиканні на землю.

Згідно зі статистичними даними, приблизно 60% випадків ураження струмом трапляються через безпосередній контакт з елементами під напругою, ще понад 25% – при торканні металевих частин, які за нормальних умов не повинні бути під напругою. Основною причиною є ігнорування вимог безпечної експлуатації електроустановок.

Для підвищення рівня електробезпеки під час проєктування та експлуатації технічних систем необхідно впроваджувати наступні заходи:

- обмеження доступу до струмопровідних частин;
- застосування якісної ізоляції та постійний контроль її стану;
- впровадження маловольтних схем там, де це допустимо;
- встановлення захисного заземлення;
- запобігання накопиченню статичної електрики;
- захист низьковольтних кіл від перенапруги з боку високовольтних систем;
- неухильне дотримання експлуатаційних регламентів;
- своєчасне обслуговування та профілактичні перевірки.

Шкідливий виробничий фактор – це вплив, який у процесі виконання професійних обов’язків може викликати розвиток хронічних захворювань або зниження функціональних можливостей організму. Його дія має накопичувальний і довготривалий характер.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Під час проєктування систем керування значна частина робочого процесу припадає на роботу за комп'ютером, що супроводжується такими негативними впливами, як електромагнітне та електростатичне поля, світлове випромінювання і відбите світло.

Електромагнітні поля (ЕМП), що генеруються елементами монітора, можуть справляти як теплову, так і специфічну біологічну дію.

Хвилі міліметрового діапазону поглинаються шкірою;

Сантиметрові – впливають на поверхневі тканини;

Дециметрові – проникають до 10 см углиб тіла.

Тепловий ефект ЕМП спричиняє підвищення температури в тканинах, що погано кровопостачаються (очний кришталік, печінка, шлунок), що може провокувати загострення хронічних патологій.

Біологічний вплив включає:

- порушення функціонування нервової й ендокринної систем;
- зміни електрофізіологічних процесів у мозку;
- розвиток астенії, уповільнення серцевого ритму;
- часті головні болі та загальне зниження працездатності.

Електростатичне поле, яке виникає при роботі дисплея, сприяє накопиченню пилу на шкірі оператора, що може викликати подразнення, негативно впливати на оптичні елементи (лінзи) та збільшувати ризик розвитку катаракти.

Світлові відблиски й блиск екрана можуть викликати візуальну втому, погіршення чіткості зору, розвиток короткозорості, що значно знижує ефективність праці працівника за комп'ютером.

4.3. Розрахунок захисного заземлення

Як вже зазначалося вище, одним з найнебезпечнішим фактором, в результаті якого людині може бути заподіяна шкода, під час налагодженні

					172.4391.KP.ПЗ.P4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

або експлуатації проектуємого пристрою є ураження електричним струмом. Тому розрахуємо параметри захисного заземлення (ЗЗ) для нашого виробу.

За похідні дані приймемо:

1. Електроустановка до 1000 В;
2. Допустиме значення опору ЗЗ за нормами: $R_d = 4 \text{ Ом}$;
3. Тип заземлювача: кутковий в землі (довжина кутка $l = 2,5 \text{ м}$; ширина кутка $b = 43 \text{ мм}$);
4. Тип ґрунту: садова земля;
5. Глибина закладення заземлюючого пристрою (ЗП) від поверхні землі: $t_0 = 0,7 \text{ м}$;
6. З'єднувальна смуга: протяжна круглого перетину в землі (діаметр $D = 25 \text{ мм}$).

З похідних даних маємо, що допустиме значення опору ЗЗ складає $R_d = 4 \text{ Ом}$.

Питомий опір ґрунту (садова земля) визначаємо за даними Таблиці 2.3 (методичні вказівки – с. 16): $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Розраховуємо опір розтіканню струму для куткового заземлювача в землі. Для розрахунку користуємось Таблицею 2.2 (Методичні вказівки – с. 12).

$$R_1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l \cdot l}{b} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 \cdot t + l}{4 \cdot 2 \cdot t - l} \right), \text{ де}$$

t – глибина закладення заземлювача, м;

l – довжина кутка, м;

b – ширина кутка, м;

t_0 – глибина закладення кутка від поверхні землі, м.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

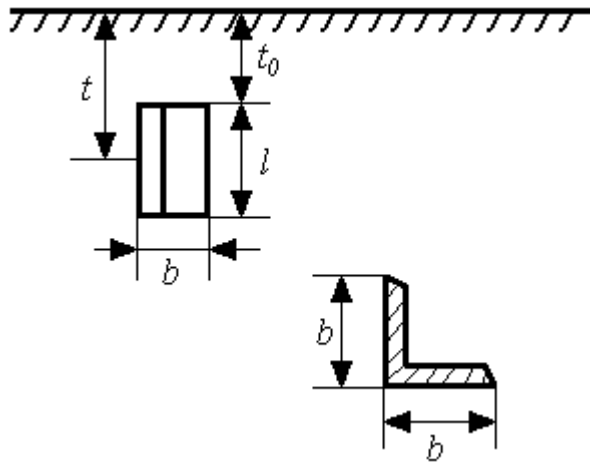


Рисунок 4.1 – Ескіз електроду даного типу

$$t = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0.7 + \frac{1}{2} \cdot 2.5 = 1.95 \text{ (м)}.$$

$$\text{Тоді: } R_1 = \frac{50}{2 \cdot 3.1416 \cdot 2.5} \cdot \left(\ln \frac{2.1 \cdot 2.5}{0.043} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4.2 \cdot 1.95 + 2.5}{4.2 \cdot 1.95 - 2.5} \right) = 16.298 \text{ (Ом)}.$$

Через те, що опір одиночного заземлювача більше допустимого ($R_1 > R_{\text{д}}$), тоді застосовуємо штучні заземлювачі, з'єднувальні паралельно за допомогою з'єднувальної.

Визначаємо необхідне число паралельно з'єднувальних заземлювачів:

$$n' = \frac{R_1}{\eta_{\text{в}} \cdot R_{\text{д}}} = \frac{16.298}{1 \cdot 4} = 4.074,$$

де $\eta_{\text{в}}$ - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, враховуючий їх взаємне екранування ($\eta_{\text{в}} = 1$).

Отримане число заземлювачів округляємо до цілого числа n , тоді: $n \approx 4$

З Таблиці 2.4 (Методичні вказівки – с. 17) знаходимо фактичний коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_{\text{ф}}$ та визначаємо фактичний опір вертикальних заземлювачів $R_{\text{в.ф}}$.

$$\eta_{\text{ф}} = 0.76, \text{ отже, } R_{\text{в.ф}} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_{\text{ф}}} = \frac{16.298}{4 \cdot 0.76} = 5.361 \text{ (Ом)}.$$

Для вертикальних з'єднувачів застосовуємо з'єднувальну смугу круглого перетину в землі діаметром 25 мм (з похідних даних).

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		53

Визначаємо опір розтіканню струму смуги. Розрахунок проводиться аналогічно розрахунку опору розтіканню струму одиночного заземлювача.

$$R_{\text{с.п}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{с.п}}} \cdot \ln \frac{L_{\text{с.п}}^2}{D \cdot T_{\text{с.п}}}, \text{ де}$$

$L_{\text{с.п}}$ – довжина смуги, яка з'єднує вертикальні заземлювачі, м;

$L_{\text{с.п}} = 1.05 \cdot a \cdot n$ (де a – відстань поміж вертикальних заземлювачів);

$T_{\text{с.п}}$ – глибина закладання з'єднувальної смуги в землю, м;

D – діаметр смуги (труби), м;

n – округлене число заземлювачів.

$$a = 1 \cdot 1 = 1 \cdot 2.5 = 2.5 \text{ (м)};$$

$$T_{\text{с.п}} = t_0 + \frac{1}{2} \cdot D = 0.7 + \frac{1}{2} \cdot 0.025 = 0.712 \text{ (м)}.$$

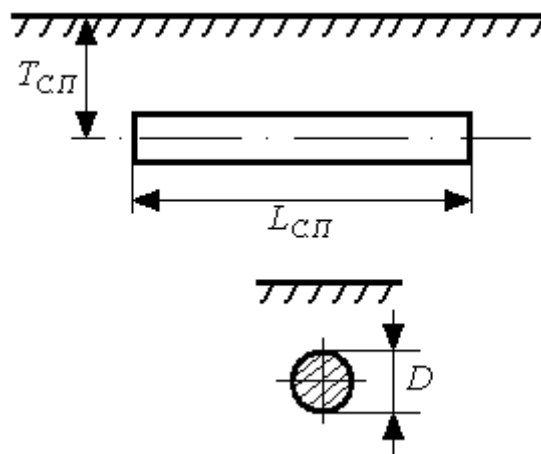


Рисунок 4.2 – Ескіз з'єднувального електроду даного типу.

$$\text{Отже, } R_{\text{с.п}} = \frac{50}{2 \cdot 3.1416 \cdot 10.5} \cdot \ln \frac{10.5^2}{0.025 \cdot 0.712} = 6.617 \text{ (Ом)}.$$

З урахуванням коефіцієнту використання смуги (горизонтального електроду) η_r , опір смуги дорівнює: $R_{\Pi} = \frac{R_{\text{с.п}}}{\eta_r} = \frac{6.617}{0.77} = 8.593 \text{ (Ом)},$

де $\eta_r = 0.77$ (Таблиця 2.5. Методичні вказівки – с. 17) .

Фактичний опір ЗП складається з вертикальних заземлювачів та з'єднувальної смуги, обумовлене як еквівалентний опір при паралельному з'єднанні провідників:

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

$$R_3 = \frac{R_{в.ф} \cdot R_{с.п}}{R_{в.ф} + R_{с.п}} = \frac{5.361 \cdot 8.593}{5.361 + 8.593} = 3.301 \text{ (Ом)}.$$

Отримане значення опору ЗП задовольняє умові $R_3 \leq R_d$. Отже, можна зробити висновок, що отримані параметри ЗЗ задовольняють усім умовам по електробезпеці під час налагодження та експлуатації проєктуємого виробу.

Результати розрахунку:

- 1) Кількість вертикальних заземлювачів: 4 шт.;
- 2) Опір розтіканню струму одиночного заземлювача: 16,298 Ом;
- 3) Довжина з'єднувальної смуги: 10,5 м;
- 4) Опір розтіканню струму з'єднувальної смуги: 6,617 Ом;
- 5) Опір з'єднувальної смуги: 8,593 Ом;
- 6) Фактичний опір ЗП: 3,301 Ом.

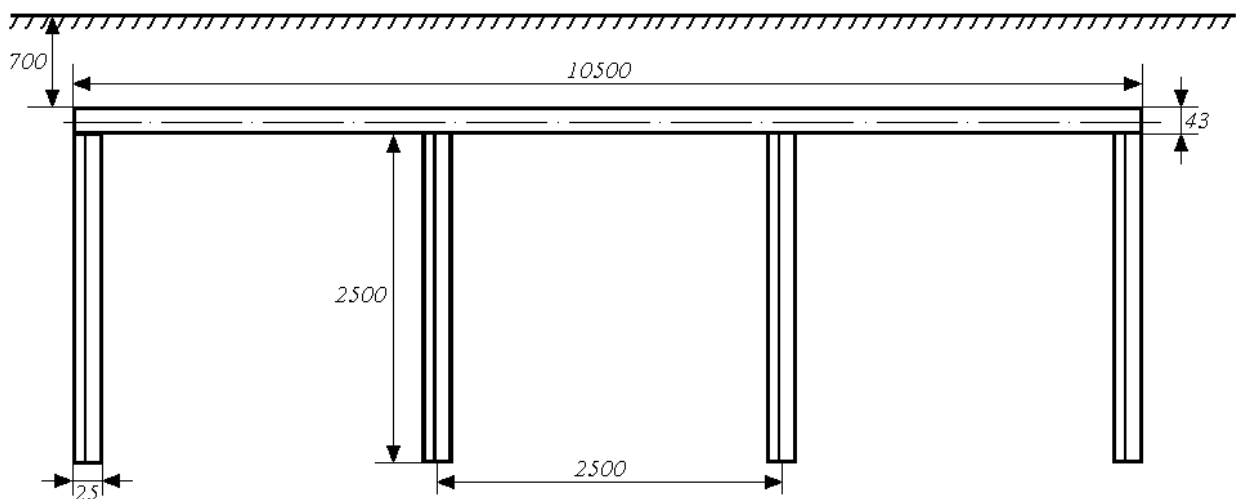


Рисунок 4.3 – Схематичне зображення з'єднувальної смуги ЗП

4.4. Заходи щодо техніки безпеки

Для створення сприятливих умов праці в кабінетах із комп'ютерним обладнанням необхідно організувати комбіноване освітлення — поєднання природного й штучного джерел світла. Найдоцільніше орієнтувати вікна на північ, щоб уникати впливу прямих сонячних променів. Природне освітлення має надходити збоку та відповідати вимогам чинних будівельних

регламентів. З метою зменшення контрасту між яскравістю монітора й денним світлом слід використовувати жалюзі або світловідбивні плівки. Світлорозсіюючі фіранки повинні мати середнє значення коефіцієнта відбиття.

Розташовувати дисплеї варто так, щоб уникати прямого попадання світла з вікон чи ламп, що може спричинити появу відблисків. Для штучного освітлення рекомендовано встановлювати люмінесцентні світильники з рівномірним розміщенням над робочими зонами. Коливання інтенсивності світла повинні залишатися в межах допустимих значень. Слід забезпечити оптимальний баланс між яскравістю екрана та навколишнього простору, співвідношення яких не повинно перевищувати 3:1.

Робоче середовище має бути ергономічним і сприяти продуктивній діяльності користувачів комп'ютерів. Бажано оснащувати приміщення системами затемнення — шторами або жалюзі, що повністю блокують денне освітлення. Робочі місця необхідно розміщувати окремо або в ізольованих просторах із належною вентиляцією та природним світлом. Мінімальні показники площі на одне робоче місце становлять 6 м², а обсяг повітря — не менше 20 м³.

В оформленні інтер'єру доцільно використовувати оздоблювальні матеріали з матовою поверхнею, які забезпечують рівномірне розсіювання світла. Підлога має бути неслизькою, легко очищуваною та такою, що не накопичує статичну електрику. Застосування матеріалів, які виділяють токсичні або шкідливі сполуки, суворо заборонено. Рівень шкідливих домішок у повітрі не повинен перевищувати встановлені санітарні норми.

Сприятливий мікроклімат є ключовим чинником ефективної роботи. Температурні й вологісні режими повинні відповідати технічним вимогам експлуатації комп'ютерних систем. Робочий температурний інтервал може варіюватися в межах 10–40 °С, а відносна вологість — у межах 40–90 %. Оптимальними вважаються: температура повітря — 19–23 °С, вологість —

					172.4391.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

близько 55 %, а швидкість руху повітря — мінімальна. Необхідно запобігати перегріванню техніки й появі протягів. У теплий період року допустима температура — 23–25 °С, у холодний — 22–24 °С. Монтаж кондиціонерів дозволяє індивідуально регулювати параметри мікроклімату.

У процесі роботи з моніторами змінюється іонізація повітря, тому варто застосовувати вентиляційні установки, іонізатори або захисні екрани. Куріння та присутність великої кількості людей негативно впливають на якість повітря, що зумовлює потребу у додаткових заходах: регулярному провітрюванні, обмеженні доступу сторонніх осіб і розмежуванні приміщень за функціональним призначенням.

Приміщення повинні бути оснащені обладнанням для забезпечення пожежної безпеки, оскільки наявність електроніки створює ризики займання внаслідок перегріву, коротких замикань чи використання легкозаймистих речовин. До основних засобів пожежогасіння належать вогнегасники, ящики з піском та азбестові ковдри. У кожному приміщенні площею до 20 м² має бути не менше двох вогнегасників. Матеріали оздоблення мають бути вогнестійкими або малозаймистими. У разі необхідності слід передбачити встановлення систем раннього виявлення займання та автоматичного пожежогасіння.

					172.4391.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було виконано проєктування, розробку та тестування системи тактильного відтворення тексту. Результати кожного з етапів засвідчують комплексний підхід до реалізації поставленої задачі та досягнення цілей, визначених на початку роботи.

Спочатку було проведено обґрунтування актуальності теми, що базується на потребі забезпечення доступу до текстової інформації для людей із порушеннями зору. Проаналізовано існуючі технології рельєфно-крапкового відображення інформації, зокрема механічні та електронні дисплеї Брайля, що дозволило визначити нішу для розробки недорогого і функціонального пристрою. Виконано аналіз сучасних пристроїв, що використовують шрифт Брайля, та здійснено порівняльний огляд існуючих рішень. Було виявлено ключові недоліки комерційних систем: високу вартість, складність обслуговування та обмежену доступність. Це дозволило сформулювати вимоги до нової системи — компактність, доступність, простота у використанні та відтворення символів у покроковому режимі.

На основі вимог виконано розробку структурної схеми системи. Визначено функціональні блоки: модуль керування, модуль введення, виконавчий механізм та інтерфейс користувача. У подальшому обрано елементну базу з використанням мікроконтролера Arduino Uno та соленоїдів як виконавчих елементів. Розроблено принципову електричну схему із зазначенням усіх підключень. Проведено моделювання та створення апаратного прототипу, який успішно пройшов тестування. За результатами випробувань підтверджено функціональність основних вузлів системи.

У програмному забезпеченні реалізовано архітектуру обробки символів, прийом введеного тексту через монітор порту Arduino IDE, трансляцію кожного символу в бітову маску шрифту Брайля та керування соленоїдами. Реалізовано алгоритми виводу символів та управління кнопкою

					172.4391.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

підтвердження для переходу до наступного символу. Проведено оптимізацію коду та тестування стійкості системи до помилок введення.

Отже, система для тактильного виводу тексту на основі шрифту Брайля з покроковим управлінням є важливою та доступною для людей із проблемами із зором.

					172.4391.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковальчук О.М. Технології тактильного відображення інформації: монографія. — Київ: Наукова думка, 2018. — 320 с.
2. Петренко І.В. Шрифт Брайля: історія, розвиток та сучасне застосування: навчальний посібник. — Львів: Світ, 2015. — 256 с.
3. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 6. Апаратно-програмні засоби відображення інформації. Підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. — Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2013. — 464 с.
4. Рябенський В.М. Особливості використання автоматного програмування при розробці спеціалізованої SCADA-системи для автономних електроенергетичних установок / В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко, О.І. Дорогань // Технічна електродинаміка. Тем. випуск. Харків, 2012. Ч.3. — С.155-159.
5. Рябенський В.М. Моделювання електронних, електротехнічних та електроенергетичних систем / Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Махмуд М.С. Аль-Суод. Миколаїв: Іліон, 2024. — 424 с.
6. Сидоренко Л.П. Методи та засоби перетворення текстової інформації у шрифт Брайля: дисертація. — Харків: ХНУРЕ, 2017. — 180 с.
7. Терещенко Т.О., Тодоренко В.А., Батрак Л.М., Ямненко Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: навчальний посібник. — Київ: Кафедра, 2017. — 244 с.
8. Ямненко Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: навчальний посібник. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. — 244 с.
9. Braille Authority of North America. Guidelines for Braille Transcription. — Washington, D.C.: National Library Service for the Blind and Physically Handicapped, 2016. — 400 p.
7. Романенко В.С. Програмні засоби для конвертації тексту у шрифт Брайля: методичні рекомендації. — Одеса: ОНПУ, 2019. — 150 с.

					172.4391.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

10. Smith J.D. Braille Software Development: Principles and Practices. — New York: Springer, 2014. — 310 p.
11. Іванченко М.Г. Апаратні рішення для забезпечення доступності інформації людям з вадами зору: монографія. — Дніпро: ДНУ, 2020. — 290 с.
12. Jones L.M. Assistive Technologies for Visually Impaired and Blind People. — London: CRC Press, 2018. — 450 p.
13. Кравець О.П. Розробка електронних пристроїв для відображення інформації шрифтом Брайля: курс лекцій. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. — 200 с.
14. Miller R.J. Tactile Displays: Technologies and Applications. — Boston: MIT Press, 2017. — 370 p.
15. Семенюк Т.В. Дослідження ефективності використання шрифту Брайля в освіті: збірник наукових праць. — Чернівці: Рута, 2015. — 220 с.
16. Adams M.P. Braille Literacy: A Functional Approach. — San Francisco: Jossey-Bass, 2013. — 280 p.
17. Гончаренко Л.Д. Інтеграція програмних та апаратних засобів для підтримки шрифту Брайля: дисертація. — Запоріжжя: ЗНУ, 2018. — 210 с.
18. Taylor G.N. Innovations in Braille Technology: Proceedings of the International Conference. — Berlin: Springer, 2019. — 320 p.
19. Мельник І.О. Використання мобільних додатків для навчання шрифту Брайля: методичні вказівки. — Тернопіль: ТНПУ, 2021. — 180 с.
20. Harrison P.L. Computer-Based Braille Learning Systems. — Chicago: University of Chicago Press, 2015. — 290 p.
21. Дмитренко С.В. Системи автоматичного перекладу текстів у шрифт Брайля: монографія. — Полтава: ПНТУ, 2017. — 260 с.
22. Robinson K.T. Braille Displays and Their Impact on Accessibility. — Oxford: Oxford University Press, 2016. — 340 p.

					172.4391.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

23. Захарченко П.М. Технології адаптації електронних документів для незрячих користувачів: навчальний посібник. — Вінниця: ВНТУ, 2019. — 230 с.

24. Nelson R.W. Advances in Braille Embossing Techniques. — Cambridge: Cambridge University Press, 2018. — 310 p.

25. Рябенський В.М. Проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. Навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. — К.: «Корнійчук», 2004, — 253 с.

26. Рябенський В.М. Verilog. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. Навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2007. — 324с.

27. Рябенський В.М. Комп'ютерне керування зовнішніми пристроями через стандартні інтерфейси. Навч. посіб. / В.М. Рябенський, В.Є. Ходаков, О.О. Ушкаренко. Херсон: Олді-плюс, 2008. — 380 с.

28. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 2. Прикладна теорія цифрових автоматів. Підручник / В.М. Рябенський, М.Т. Фісун, О.О. Ушкаренко. — Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. — 380 с.

29. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 3. Мікропроцесорна техніка. Підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, В.С. Буряк. — Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2012. — 445 с.

					172.4391.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Програмний код системи

```
// таблиця Брайля
int braille[26][6] = {
    {1,0,0,0,0,0}, {1,1,0,0,0,0}, {1,0,0,1,0,0}, {1,0,0,1,1,0}, {1,0,0,0,1,0},
    {1,1,0,1,0,0}, {1,1,0,1,1,0}, {1,1,0,0,1,0}, {0,1,0,1,0,0}, {0,1,0,1,1,0},
    {1,0,1,0,0,0}, {1,1,1,0,0,0}, {1,0,1,1,0,0}, {1,0,1,1,1,0}, {1,0,1,0,1,0},
    {1,1,1,1,0,0}, {1,1,1,1,1,0}, {1,1,1,0,1,0}, {0,1,1,1,0,0}, {0,1,1,1,1,0},
    {1,0,1,0,0,1}, {1,1,1,0,0,1}, {0,1,0,1,1,1}, {1,0,1,1,0,1}, {1,0,1,1,1,1},
    {1,0,1,0,1,1}
};

int controlPins[6] = {2,3,4,5,6,7};
int buttonPin = 8;
char letter;
int index;

void setup(){
    Serial.begin(9600);
    for(int i=0; i<6; i++){
        pinMode(controlPins[i], OUTPUT);
    }
    pinMode(buttonPin, INPUT);
    Serial.println("Введіть текст у монітор порту.");
}
```

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Лістинг головного циклу програми

```
void loop(){
  if (Serial.available() > 0) {
    letter = Serial.read(); // читання символів
    if (letter >= 'A' && letter <= 'Z') {
      letter = letter + 32; // конвертація у нижній регістр
    }
    if (letter >= 'a' && letter <= 'z') {
      index = letter - 'a';
      Serial.print("Отримано: ");
      Serial.println(letter);

      for(int k=0; k<6; k++){
        digitalWrite(controlPins[k], braille[index][k]);
      }

      // Кнопка перемикання символів
      Serial.println("Натисніть кнопку для наступної букви...");
      while(digitalRead(buttonPin) == LOW) {}
      delay(500); // пауза для захисту
    }
  }
}
```

					172.4391.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		