

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота
другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження перетворення сигналів
в системі механо-і-терморелеції

Виконав: студент II курсу, групи 8.1712
спеціальності 171 «Електроніка»
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Електроніка
(код і назва освітньої програми)

Гриченко П.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, канд. техн. наук Кісільов С.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент заст. дир. ННП "Екотех" Шершов С.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 «Електроніка»

(код і назва)

Освітня програма Електроніка

(код і назва)

Спеціалізація _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Критська Т.В.

“ 09 ” 10 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Гриченко Павло Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Дослідження перетворення сигналів у системі механо-і терморелеції

керівник роботи Кісельов Єгор Михайлович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від “09” жовтня 2023 року № 1577-с

2 Строк подання студентом роботи 04.12.2023

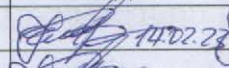




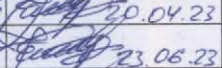
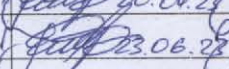
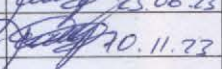
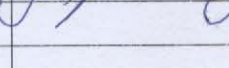
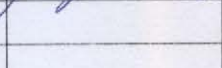
3 Вихідні дані до роботи Мінімальна кількість елементів 480 x 320, час імітації - не більш 200 мс, обсяг програмного коду - не більш 256 КБ, розміри плати - не більш 200 x 140 мм.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз особливостей температурно-тактильних датчиків. 2. Розробка датчика 3. Розрахункова частота 4. Конструкторсько-технологічна частота 5. Техніко-економічне обґрунтування

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

1- Еквівалентна схема проелектричного датчика 2 - Конструкція сенсо-
 рів 3 - Структурна схема системи обробки 4 - Схема електрична принципова
 системи обробки 5 - Результати моделювання 6 - Плата друкована
 7 - Економічні показники 8 - Охорона праці


6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Кісельов Є.М., доцент	 14.02.23	 02.03.23
2	Кісельов Є.М., доцент	 02.03.23	 20.03.23
3	Кісельов Є.М., доцент	 20.03.23	 20.04.23
4	Кісельов Є.М., доцент	 20.04.23	 23.06.23
5	Кісельов Є.М., доцент	 23.06.23	 20.11.23

7 Дата видачі завдання 14.02.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз особливостей датчика в	02.03.2023	
2	Розробка датчика	20.03.2023	
3	Розрахункова частина	20.04.2023	
4	Конструктивно-технологічна частина	23.06.2023	
5	Техніко-економічне обґрунтування	10.11.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2023	
7	Оформлення графічної частини	04.12.2023	

Студент  Грищенко П.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проекту)  Кісельов Є.М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  Грищенко П.В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 104 стор., 26 рис., 17 табл., 41 джерело літератури.

ПРОЕЛЕКТРИК, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИК, НЕЙРОННА МЕРЕЖА,
СКАНУВАННЯ, ПЕЧАТНА ПЛАТА

В рамках розробки пристрою були проаналізовані технологічні питання та обрано сучасну елементну базу по критеріям завдання.

Об'єкт дослідження – процеси перетворення інформації у температурно-тактильних датчиках.

Мета роботи – розробка системи температурно-тактильних датчиків на основі піроелектричних перетворювачів.

Задачі роботи – розробка матриці сенсорів; розробка схеми та алгоритму керування температурно-тактильним датчиком; дослідження схеми керування датчиком; розробка печатної плати системи керування датчиком.

Методика досліджень – розрахунково-аналітичні методи, імітаційне моделювання, синтез і відладка програмно-апаратних засобів.

Короткий виклад результатів досліджень: розроблено структуру температурно-тактильного датчика розмірністю 640 x 480 елементів і систему обробки результатів вимірювань, що дозволяє здійснити сканування відбитків датчика за 112 мс і займає 145 кБ в постійній пам'яті контролера.

Результати впроваджень – результати роботи рекомендовано до впровадження в навчальний процес на кафедрі ЕІСПЗ.

Прогнозні пропозиції – результати роботи можуть бути використані у робототехніці.

Дипломну роботу виконано на кафедрі мікроелектронних інформаційних систем, з 01.09.2023 р. по 10.12.2023 р.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 1 Аналіз конструктивних особливостей сучасних тактильних датчиків	8
1.1 Огляд сучасних рішень тактильних датчиків	8
1.2 Вибір типу чутливого елемента температурно-тактильних датчиків	14
1.3 Класифікація піроелектричних сенсорів	17
1.4 Особливості побудови піроелектричних сенсорів	20
1.5 Способи обробки сигналів сенсорів	21
1.6. Інтегральні сенсори	26
2 Розробка температурно-тактильного датчика	28
2.1 Розробка структури матриці температурно-тактильних сенсорів	28
2.2 Розробка структури температурно-тактильного датчика	29
2.3 Розробка схеми електричної принципової температурно-тактильного датчика	31
2.4 Розробка програмного забезпечення температурно-тактильного датчика	38
2.5 Моделювання обміну даними мікроконтролера з зовнішньою пам'яттю	41
3 Розрахункова частина	47
3.1 Розробка ізольованого адаптера інтерфейсу температурно - тактильного датчика	47
3.2 Дослідження системи розпізнавання температурної і механорецепції	50
4 Конструкторсько-технологічна частина	54
4.1 Розробка топології печатної плати температурно - тактильного датчика	54

4.2 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів	60
4.3 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів	63
4.4 Виробнича санітарія	65
4.5 Електробезпека	69
4.6 Пожежна безпека. Техногенна безпека	70
5 Техніко-економічне обґрунтування розробки	72
5.1 Обґрунтування вибору мікроконтролерного управління температурно-тактильного датчика	72
5.2 Обґрунтування вибору технології виготовлення печатної плати температурно-тактильного датчика	73
5.3 Розрахунок витрат на виготовлення апаратної частини плати температурно-тактильного датчика	79
Висновки	81
Перелік використаних джерел	82
Додаток А	86
Додаток Б	87
Додаток В	104

ВСТУП

Тактильні датчики - це спеціальний клас перетворювачів сили і тиску, які характеризуються невеликою товщиною [1]. Ці датчики корисні у випадках, коли сила або тиск вимірюються між двома поверхнями, розташованими близько один до одного. Такі датчики часто використовуються в робототехніці, наприклад, їх встановлюють на «пальці» механічних приводів для забезпечення зворотного зв'язку при контакті з об'єктом - це нагадує те, як працюють тактильні сенсори шкіри людини. Датчики торкання використовуються в сенсорних дисплеях, клавіатурах та інших пристроях, де необхідно реагувати на фізичний дотик. Тактильні датчики, наприклад, широко застосовуються в біомедицині, для визначення прикусу зубів і правильності установки коронок в стоматологічній практиці, а також при дослідженні тиску на ноги людини при ходьбі. Іноді при проведенні операцій протезування їх встановлюють в штучні суглоби для коригування положення і т.д. У будівництві та на механічних виробництвах тактильні датчики використовуються для визначення сил, діючих на закріплені пристрої. Для виготовлення тактильних чутливих елементів використовуються кілька методів. У деяких з них на поверхні об'єкту формується спеціальний тонкий шар з матеріалу, чутливого до механічних напруг [2]. Якщо потрібно контролювати кілька чутливих зон, використовується мультиплексор. Коли до верхнього провіднику прикладається зовнішня сила над отвором в прокладці, він прогинається і стикається з нижнім провідником, тим самим встановлюючи з ним електричний контакт, заземлюючи навантажувальний резистор. При цьому вихідний сигнал стає рівним нулю, що свідчить про прикладену силу. Верхній і нижній провідники можуть виготовлятися методом трафаретного друку провідними чорнилом на підкладці. Чутливі зони таких датчиків визначаються рядами і колонами провідників, нанесених чорнилом. Дотик в певній ділянці чутливої поверхні призводить до замикання відповідних ряду і колонки, що показує локалізацію прикладеної сили. Хороші тактильні датчики виходять на основі п'єзоелектричних плівок, які використо-

вуються як в пасивному, так і в активному режимах. Багато тактильні датчики виконують функції сенсорних перемикачів [3]. На відміну від традиційних перемикачів, надійність контактів яких сильно знижується при попаданні на них вологи і пилу, п'єзоелектричні ключі, завдяки своєму монолітному виконання, можуть працювати в несприятливих умовах навколишнього середовища. Іншим різновидом тактильних датчиків є п'єзорезистивний чутливий елемент. Він виготовляється з матеріалів, чиє електричний опір залежить від прикладеного механічного напруги або тиску. До таких матеріалів відносяться проводять еластомери або пасти, чутливі зміни тиску. Провідні еластомери виготовляються із силіконової гуми, поліуретану та інших матеріалів, до складу яких входять провідні частинки або волокна. Наприклад, провідна гума виходить при введенні в звичайну гуму вугільного порошку. Принцип дії еластомерних датчиків заснований або на зміні площі контактів при стисненні еластомеру між двома провідними пластинами, або на зміну товщини еластомерного шару. Залежно від величини зовнішньої сили, що діє на датчик, змінюється площа контактної зони між притискним пристроєм і еластомером, в результаті чого змінюється електричний опір. Більш тонкі п'єзорезистивні тактильні датчики виходять з напівпровідникових полімерів, опір яких також залежить від тиску [4]. Конструкція таких датчиків нагадує мембранний перемикач. У порівнянні з тензодатчиками п'єзорезистивні чутливі елементи мають більш широким динамічним діапазоном. Разом з тим чутливість шкіри людини не обмежується лише реєстрацією механічних зусиль. При виконанні дотику та на близьких відстанях від об'єкту взаємодії рецептори шкіри здатні визначати температурні якості предметів.

Т.ч., розробка та дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморцепції є актуальною науково-технічною задачею.

1 АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ ТАКТИЛЬНИХ ДАТЧИКІВ

1.1 Огляд сучасних рішень тактильних датчиків

Поява тактильних датчиків, призначених для біометричного розпізнавання предметів навколишнього простору, зумовлене розвитком робототехніки. Основна тенденція в області створення тактильних датчиків - відтворення відчутних властивостей людської шкіри. Така тенденція в найбільшій мірою задовольняють тактильні пристрої матричного типу, так як кожна клітинка матриці, що представляє собою мікроелектронних датчик сили (або деформації, моменту), дає конкретну інформацію, а все разом дозволяють сформувати цілісне уявлення про форму предмета. Конструкторські та технологічні розробки тактильних датчиків перебувають на початковому етапі розвитку, ще не вироблені технічні вимоги та не визначений перелік їх характеристик [5].

Дослідники Клівлендського університету (США) вважають [6], що сучасний тактильний датчик для робота повинен володіти такими властивостями: високою чутливістю, здатність сприймати тиск (силу), перетворювати його в електричні сигнали, що дозволяють визначити форму і матеріал предмета, т. Е. Розпізнавати образи; високим просторовим дозволом, відповідним сприйнятливості пальців людини (просторове розрізнення людської шкіри 2 мм); достатню для зварювальних або складальних робіт в машинобудуванні, а також для робіт, застосовуваних у мікрохірургії та мікроелектроніці; хорошими лінійними характеристиками (припустимі лише відхилення що компенсуються при обробці сигналу на ЕОМ); незначним гістерезисом; стійкістю до перевантажень і важких умов роботи; невеликим розмірам і масою; невисокою вартістю.

Це може бути забезпечено при використанні в процесі розробки і виробництва тактильних датчиків мікроелектронної твердотільної технології, що

володіє широкими можливостями мініатюризації та формування коштів обробки сигналу на одному чіпі з чутливий елемент (ЧЕ) як, наприклад в датчику, створеному фахівцями університету Карнегі-Меллон [6].

Дослідники Стенфордського університету запропонували для формування ЧЕ тактильних датчиків гнучку смужку товщиною 200-400 мкм. На поліамідної підкладці розташовуються кремнієві кристали, кожен з яких утворює інтегральну схему. "Острівці" кристалів з'єднуються золотими провідниками, нанесеними методом фотолітографії. Датчики з ЧЕ з такою кремнієвої стрічки забезпечують вимір "торкання" в діапазоні 0-40 000 Па з чутливістю 67 Па. У більш вузькому діапазоні 5000-7000 Па чутливість можна підвищити до 13 Па [6].

Для виконання ЧЕ п'єзорезистивних тактильних датчиків використовуються різні матеріали, наприклад волокна вуглецю (графіту). Пучки з декількох тисяч волокон характеризуються високими міцністю на розтягнення, електропровідністю і гнучкістю. При відповідному підборі розмірів пучка і підкладки елементи можуть сприймати тиск від 1 Па до десятків мегапаскалей. Вони прості у виготовленні і відносно недорогі [4].

Застосовується також електропровідний еластомер на основі силіконових каучуків з наповнювачем (графітом, сажею, металевим дрібнодисперсним порошком). Анізотропна електропровідність еластомерів дає можливість варіювати струмопровідні шляхи та місця розташування контактів між електродами. Недоліки таких ЧЕ є сприйнятливості до електричних перешкод, нелінійність, значний гістерезис, низька чутливість при істотною похибки, мале швидкодію, досить низький поріг втоми [5].

Застосування волокон вуглецю і силіконових еластомерів сприяє мініатюризації п'єзорезистивних датчиків, робить технологію їх виготовлення порівнянної з технологією виготовлення інтегральних схем. Ці датчики розраховані на широкий діапазон виміру і допускають значні перевантаження [6].

Для виготовлення гумових мембран з рельєфом складної конфігурації і точним геометричним профілем були використані кремнієві ливарні формоч-

ки, виконані методом травлення. Застосування таких фасонних мембран дозволило значно покращити точність тактильних датчиків.

П'єзорезистивного тактильні датчики з матричними чутливими елементами розробляються різними лабораторіями США (Jet Propulsion Laboratory, Artificial Intelligence Laboratory MJT) і Франції (Laboratoire d'Automatique et d'Analyse des System) [7].

Югославські і французькі дослідники працюють над спільним проектом створення руки робота, на якій буде змонтований датчик з ЧЕ з електропровідної гуми, покритої тонким шаром фарби [7].

Фірма Barray Wright Corp. (США) нещодавно випустила два резистивних датчика з еластомерів - розміром 10x20 мм з матрицею 8x16 осередків і розміром 40x40 мм з матрицею 16x16 мм осередків [7].

Спільно з Токійським університетом фірмою Yokohama Rubber Co. (Японія) розроблений датчик з електропровідної гуми товщиною менше 1 мм. Розміри тришарового ЧЕ 4x4 або 8x8 мм. Датчик фіксує силу і місце її застосування. Він змонтований на створеному фірмою роботі, який оперує деталями масою від 30 г до декількох кілограмів [8].

У Варвிகському університеті (США) сконструйований тактильний датчик на основі ЧЕ з вуглецевих волокон, завданих для еластичності на пласку гнучку стрічку. Довільний перетин волокон забезпечує зміна опору в широких межах, однак закономірність цієї зміни під впливом тиску від нуля до максимуму не знайдено [8].

У Пенсільванському університеті (США) розроблений тактильний датчик з п'єзорезисторами, ізолюваними від навколишнього середовища, що дозволило підвищити стабільність датчика у часі, зменшити дрейф нуля, підвищити стійкість до електростатичних напружень [8].

У Пізанському університеті (Італія) створений п'єзоелектричний датчик, освічений шаром PVF₂ на гнучкому шарі резистивної фарби, опір якої стабілізується при 37 С. За різницею поглинання тепла обома шарами ідентифікуються різні матеріали, з яких виконані предмети. Лінійність датчика 1%. Слід зазначити, що введення другого шару викликає збільшення гістерезису [8].

Незважаючи на небажану в багатьох випадках температурну чутливість, дослідники Пізанського університету використовують ЧЕ з PVF2 в тактильному датчику, що є продовженням пальця робота з чотирма ступенями свободи. Конструктивно датчик являє собою порожнистий циліндр діаметром 28 і довжиною 40 мм. В середині його проходить тонкий коаксіальний кабель, до якого припаяні 35 електродів, організованих в матрицю 5x7 осередків. Завдяки високій чутливості датчик за кілька мкс визначає усунення об'єкта на сотні мікрометрів [9].

В останні час отримали розвиток тактильні датчики, засновані на зміні оптичних властивостей матеріалу під дією прикладеної до них сили. Інтерес до таких оптичних датчиків пояснюється їх високою чутливістю, стійкістю до електромагнітних полів, нейтральністю до впливів навколишнього середовища і можливістю урізноманітнити конструктивні рішення.

В оптичному тактильному датчику фірми JPL (США) використані гнучка відображає мембрана, джерело інфрачервоного випромінювання, ЧЕ з 16 осередків розміром 5x5 мм (матриця 4x4 осередків), два світловоди між джерелом і детектором. Інтенсивність відбитого світла прямо пропорційна силі, яка додається до гнучкої мембрани. Однак технологія виготовлення датчиків такого типу досить складна. Їх недоліком є значні розміри, особливо при великій кількості осередків у матриці. Проте, розробки в цьому напрямку тривають в Національному бюро стандартів і на фірмі Tictile Robotic System (США), які повідомили про датчик з матрицею 16x16 осередків [9].

Цією ж фірмою розроблений тактильний датчик з матрицею з 256 осередків (16x16), впресована в латунну пластину розміром 41x41 мм, що приблизно відповідає розміру хвата робота. Датчик, змонтований на друкованій платі 50.8x63.5 мм, містить джерела світла, приймачі, формувачі сигналу. Він характеризується хорошим ставленням сигнал / шум, відсутністю гістерезису.

Діапазон вимірювання 0.01-1 Н. Сканування матриці виробляється при частоті 3 кГц, що обмежується тільки можливостями зовнішнього десятирозрядних аналого-цифрового перетворювача. Передбачається, що в наступній моделі будуть включені джерело світла і приймач на інтегральних схемах

(замість дискретних), подвоїться щільність розташування осередків, відповідно зросте просторове дозвіл. Більш швидкий аналого-цифровий перетворювач дозволяє збільшувати частоту сканування до 100 кГц.

Дослідники Массачусетського Університету (США), запропонували тактильний датчик, побудований за принципом модуляції відбитого світла під дією тиску. Завдяки розміщенню 330 осередків на 1 см кв. ЧЕ просторову роздільну здатність надзвичайно велике, причому існує можливість його підвищення шляхом збільшення щільності волокон. Недоліки датчика - недовговічність еластомеру, що витримує всього кілька сот циклів, і малий динамічний діапазон вимірювань [11].

Датчик, розроблений в Массачусетському технологічному інституті, містить 1190 волокон перерізом 0.027 мм кв., Організованих в матрицю 35x34. Волокна покриті полімерною оболонкою товщиною 0.5 мм і білої кремнієвої гумою такої ж товщини, що виконує роль деформуючого відбивача.

Фірма British Robotic System (Великобританія) проводить дослідження можливості створення тактильних датчиків з отриманням візуальної інформації методом ендоскопії. Чутливий елемент формується з розділених шаром повітря прозорою акріліновою пластинки і пружної мембрани, що відтворює силовий вплив об'єкта і в залежності від цього змінює коефіцієнт відображення. Відбите світло фіксується перетворювачем зображення приладу з зарядовим зв'язком. Через необхідність використовувати пучок оптичних волокон і джерело світла для кожного волокна датчик громіздкий і важкий. Фахівці фірми запропонували один джерело світла на кожен ряд матриці і один детектор на кожен ряд колонок, а для сканування матриці - пульсуючий джерело випромінювання [8].

Багато дослідників пророкують широкі можливості застосування в тактильних датчиках інтегральних оптичних схем, один шар яких буде містити світлодіоди, а інший фоторезистори. Це дозволить не тільки зменшити розміри датчиків, а й спростити технологію їх виготовлення.

Фірма Lord Corp (США) створила оптичний тактильний датчик, в якому при впливі об'єкта на гнучку поверхню ЧЕ з еластомеру блокується потік

світла від нього до детектора. Просторова роздільна здатність 1.88 мм. Подібні датчики визначають складові сили контакту і моменту [9].

Найбільшою простотою конструкції відрізняються ємнісні тактильні датчики, мають високу чутливість, просторовим дозволом і швидкодією, несприйнятливістю до перешкод і можливістю установки на пальцях робота будь-якої конструкції. Як правило, ємнісний датчик формується у вигляді сандвіча з тонких пластинок міді, що розташовуються шарами перпендикулярно один одному і розділених діелектриком. Під дією тиску змінюється його електрична ємність.

У датчику, запропонованому Стенфордським університетом, використані пластини міді шириною 2.5 мм. Діелектриком служить вулканізованої при кімнатній температурі кремнієвоорганіческіє з'єднання. Матриця, що містить 4x4 елемента, вимірює тиск до 105 Па. Частота сканування 100 кГц, вхідний опір 1-5 МОм.

Фірмою Bell Laboratories, Inc. (США) розроблений ємнісний тактильний датчик з еластичний діелектриком з нейлонової сітки. Чутливий елемент являє собою тришаровий пакет, що складається з розділових діелектриків восьми рядів мідних пластин (8 пластин шириною 2.5 мм в ряду) і покритий гнучкою рукавичкою. Датчик в зборі монтується на гнучкій друкованій платі. Йому можна надати форму пальця робота. Верхня межа вимірюваного тиску 5 кПа. Пропонується також пакет з 32 рядів по 32 пластини, при цьому просторову роздільну здатність обмежується лише технологією виготовлення мідних пластин методом літографії [10].

У Artificial Intelligence MIT створений один із самих мініатюрних ємнісних датчиків. Матриця містить 8x8 осередків площею 12.7x12.7 мм. Вони розташовані взаємно перпендикулярно на відстані 2.5 мм і розділені діелектриком із силіконової гуми. Датчик кріпиться на невеликій друкарській платі. Залежно від еластичності діелектрика він вимірює тиск до 10 кПа. При цьому вимірюються ємність операційного підсилювача, амплітуда синусоїдальних сигналів, підраховуваних шестирозрядна перетворювачем. Такі датчики будуть монтуватися на чотирьох пальцях руки робота, розробленого на MIT і

Утахскім університетом. Кожен палець володіє чотирма ступенями свободи, зап'ясті - трьома, рука в цілому управляється п'ятьма мікропроцесорами (один центральний і по одному на кожен палець). У комбінації з іншими датчиками, встановленими на пальцях і долоні (зокрема, п'єзоелектричними на PVF2), це забезпечує можливість визначення зміщення пальців відносно один одного [9].

1.2 Вибір типу чутливого температурно-тактильних датчиків елементу

Матеріалом для ЧЕ п'єзоелектричних датчиків служить полімери, наприклад полівініліденфторид-2 (PVF2 або PVDE), що володіють хорошими механічними і хімічними властивостями. Оскільки деформація цих матеріалів під дією тиску незначна, для досягнення просторового дозволу, який можна порівняти з сприйнятливістю пальців людини, ЧЕ встановлюється на підкладку з еластичного полімеру. Він може монтуватися як на площині, так і на поверхні складної конфігурації. Діапазон вимірювання п'єзоелектричних датчиків досить широкий при допустимих для матеріалів ЧЕ напружених стиснення 80 МПа, розтягнення 50 МПа. Разом з цим, такі матеріали характеризуються проявою значної ступені піроелектричного ефекту, що зазвичай є шкідливим у тензозастосуваннях [11].

Теорія піроелектричного ефекту детально описана в [12]. Прості піроелектричні приймачі отримують шляхом осадження металевих обкладань на обидві поверхні тонкої пластини піроелектрику. Поглинання випромінювання піроелектриками приводить до збільшення його температури на величину ΔT , що викликає зміну його поляризації. Зсув електричних зарядів обумовлює появу струму зсуву [12]. Відповідно до [13], еквівалентна схема піроелектричного сенсора (рис. 1.1) складається з джерела піроелектричного струму $I_p(t)$, який заряджає ємкість C_p . Резистор R_p - опір сенсора, а C_E і R_E є входною ємкістю і опором еквівалентної схеми попереднього підсилювача.



Рисунок 1.1 - Еквівалентна схема піроелектричного приймача і попереднього підсилювача

Припускаючи, що структура піроелектрика однорідна і його поверхня нагрівається також однорідно, можна визначити піроелектричний струм як

$$I_p(t) = p \cdot \frac{dT}{dt} \cdot S, \quad (1.1)$$

де: p – піроелектричний коефіцієнт, $\frac{dT}{dt}$ – швидкість зміни температури піроелектрика, S – площа активної поверхні сенсора.

Максимальна вихідна напруга можуть бути визначена як:

$$U_{MAX} = \frac{r_I}{C_p + C_E} \cdot E, \quad (1.2)$$

де: r_I – струмова чутливість сенсора, E – енергія випромінювання.

Чутливість приймача до потужності випромінювання в рівняннях (1.1), (1.2) визначається як

$$r_I = \frac{\rho \cdot \alpha}{c_p \cdot \rho \cdot d}, \quad (1.3)$$

де: α - коефіцієнт поглинання випромінювання; c_p – питома теплоємність матеріалу піроелектрика; ρ - щільність матеріалу піроелектрика; d – товщина піроелектрика.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що величина вихідної напруги піроелектричного приймача залежить від величини і розподілу потужності випромінювання в часі, параметрів матеріалу піроелектрика, характеристик конструкції приймача і схем обробки і посилення вихідного сигналу, що підключаються до нього. Для збільшення чутливості приймачів необхідно: збільшувати коефіцієнт поглинання випромінювання, застосовуючи багатокомпонентні абсорбуючі покриття на робочій стороні поверхні приймача; зменшувати товщину піроелектрика, використовуючи тонкоплівкові перетворювачі (рис. 1.2); збільшувати площу, що поглинає випромінювання поверхні, приймача.

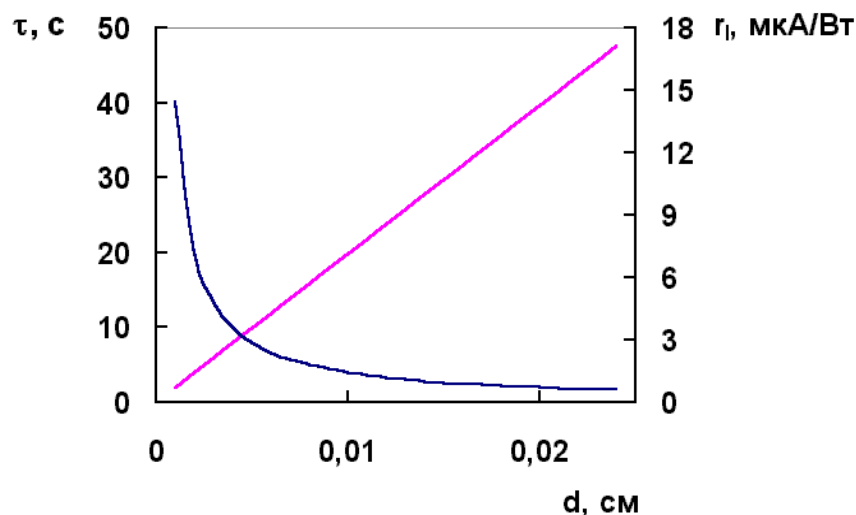


Рисунок 1.2 - Залежність термічної постійної і чутливості піроелектричного приймача від товщини шару

Разом з цим, виконання останньої умови приводить до підвищення термічною постійною приймача і, отже, до зниження швидкодії і опору піро-

лектричного перетворювача. Тому пошук вирішення цієї проблеми, визначеної суперечливими завданнями, знаходиться у сфері розробки нових конструкцій приймачів із застосуванням нетрадиційних матеріалів і методів обробки вихідних сигналів.

1.3 Класифікація піроелектричних сенсорів

Існує декілька конструктивно – технологічних ознак, які визначають способи класифікації піроелектричних сенсорів (ПС). У табл. 1.1. приведено п'ять можливих способів класифікації ПС [14].

Згідно табл. 1.1 можна сказати, що провідні позиції в області розробки ПС займають такі компанії: Infra Tec (Німеччина), DIAS Angewandte Sensorik (Німеччина), Murata Manufacturing (Японія). З іншого боку, в кількості запатентованих конструкцій ПС домінують США (рис. 1.3).

Т.ч., перспективним напрямом в розвитку ПС є створення інтегральних конструкцій із застосуванням тонких плівок піроелектричних матеріалів.

Згідно з [12], коефіцієнтами якості піроелектричних матеріалів для приймачів випромінювання є відношення піроелектричного коефіцієнта до значення теплопровідності і діелектричної проникності речовини. Крім того, вибір типу піроелектричного матеріалу визначається його механічною міцністю, хімічною стабільністю, технологічністю, відсутністю гігроскопічності і низькою температурою Кюрі.

Таким чином, хоча поява спонтанної поляризації під дією зміни температури спостерігається у багатьох речовин, широке застосування в сенсорній електроніці знайшли лише декілька матеріалів, що відповідають приведеним показникам якості. Такі матеріали можна розділити на три групи, що визначають їх внутрішню будову:

Таблиця 1.1 - Способи класифікації піроелектричних сенсорів

Класифікаційна ознака	Конструктивно – технологічні варіанти	Виробники
Матеріал піроелектрика	Кристалічні (титанат барію, ніобат і танталат літію, ніобат барію і стронцію, тригліцинсульфат і ін.)	1,2,3,4,5,6
	Керамічні (PZT, PLZT і ін.)	7
	Тонкоплівкові піроелектрики (PVDF, P(VDF/TrFE))	-
Кількість чутливих елементів	1 елемент	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10
	2 елементи	1,3,7,11
	4 елементи	11
	матриця елементів	1,2,7
Спосіб обробки вихідного сигналу	пасивні	1 – 11
	активні	1 – 7, 9, 11
Конструктивне виконання	дискретні	1 – 11
	гібридні	1,2,3,5,6,7,9, 11
	інтегральні	1,2,7

1 – Infra Tec (Німеччина), 2 – DIAS Angewandte Sensorik (Німеччина), 3 – BAE Systems (Великобританія), 4 – Terahertz Technologies (США), 5 – Acroname (США), 6 – Servo (США), 7 – Murata (Японія), 8 – Scientech (США), 9 – Scitec Instruments (Великобританія), 10 – Sensor Physics (Великобританія), 11 – Perkin Elmer (США)

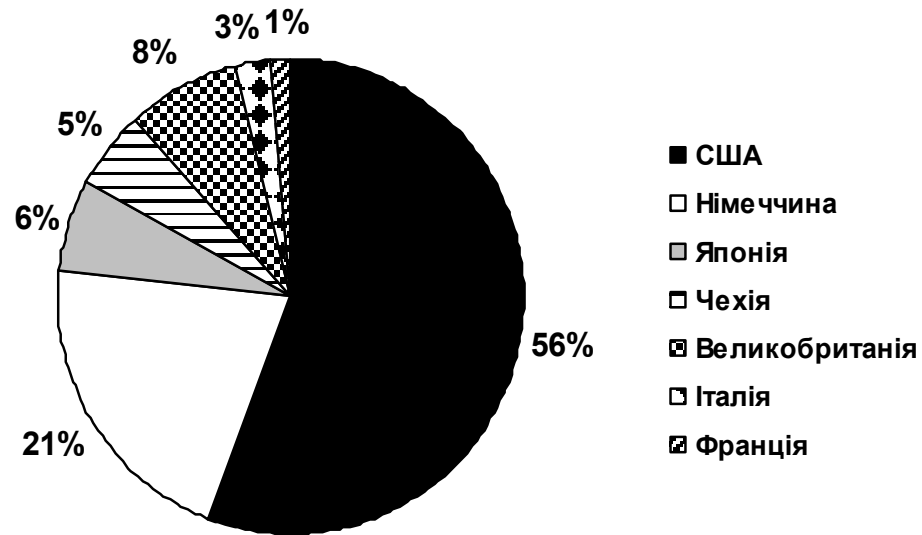


Рисунок 1.3 - Розподіл запатентованих ПС за провідними виробниками

- піроелектричні кристали;
- піроелектричні керамічні матеріали;
- піроелектричні полімерні тонкі плівки.

До першої групи відносяться титанат барію, ніобат і танталат літію, ніобат стронцію і барію, трігліцинсульфат (ТГС), дейтерований трігліцидфторберилат (ДТГФБ). Зазвичай кристали піроелектриків отримують шляхом вирощування з розчинів. Піроелектричну кераміку (PZT, PBT і ін.) отримують шляхом формування і випалення початкових порошкових компонентів.

Останніми роками зріс інтерес до використання піроелектричних полімерів як приймачі випромінювань, оскільки з них легко отримати вироби будь-якої форми і розміру. В даний час найбільш поширеними полімерними піроелектричними матеріалами є полівініліденфторід (PVDF) і комплекс «полівініліденфторід / тетрафторідетілен» (P(VDF/TRFE)). Піроелектричний коефіцієнт для цих полімерів має величину приблизно вдесятеро менше, ніж для кристалічних і керамічних піроелектриків. Інші параметри (діелектрична проникність і так далі) порівнянні із значеннями для типових піроелектриків. Тому як матеріал чутливого елемента температурно-тактильного датчика був вибраний PVDF.

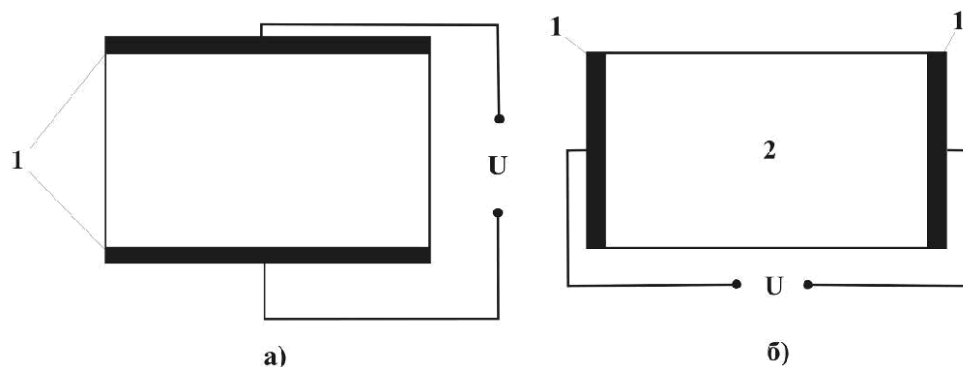
1.4 Особливості побудови піроелектричних сенсорів

У [11] показано, що піроелектричні властивості полярного матеріалу можна визначити за результатами вимірювання струму або напруги, що виникають при поглинанні сенсорами імпульсного або модульованого випромінювання. У [15] наголошується, що піроелектричні сенсори можна використовувати для вимірювання випромінювання (від мікрохвильового до рентгєнівського), яке призводить до зміни температури піроелектрика.

До переваг ПС можна віднести:

- відсутність необхідності охолодження;
- простоту конструкції;
- легкість експлуатації;
- відсутність зовнішнього зсуву.

Схеми найбільш поширених ПСР [16] приведено на рис. 1.4.



а - подовжнього; б - поперечного типу; 1 - металеві електроди; 2 - піроелектрик

Рисунок 1.4 - Типові конструкції піроелектричних сенсорів

У таких конструкціях на пластину з піроелектричного матеріалу наносяться електроди. Напрямок вектора поляризації при цьому, або співпадає з напрямом падіння випромінювання, або перпендикулярний йому. У першому випадку випромінювання поглинається електродом із зачорненою поверх-

нею, або усередині піроелектрика в другому. Подовжній тип зазвичай вигідніший, оскільки він має найнижчий імпеданс і енергія випромінювання може поглинатися електродом. При випромінюваннях великої потужності або дуже високої частоти корисніший приймач поперечного типу, що поглинає випромінювання безпосередньо об'ємом кристала. При цьому для забезпечення підвищеної знаходжувальної здатності ПС, необхідно збільшувати ступінь теплоізоляції піроелектрика, що найчастіше вирішувалося за допомогою зменшення його товщини.

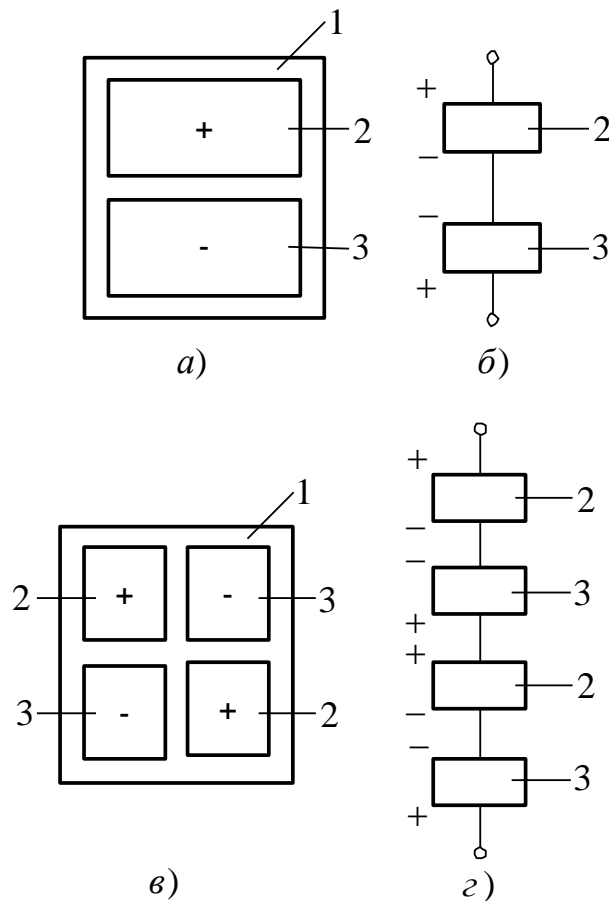
Внаслідок цього знижувалися теплоємність і термічна постійна часу ПС і, т.ч., поліпшується знаходжувальна здатність [17]. Проте, зменшення товщини піроелектричного матеріалу призводить до зниження механічної міцності ПС, збільшення механічної напруги, що виникає при нагріві сенсора. Підвищені механічні навантаження викликають появу додаткової поляризаційної складової, обумовленої п'єзоелектричними властивостями сегнетоелектриків. Тому похибка визначення рухів збільшується у декілька разів [18]. Т.ч., завдання підвищення чутливості ПС шляхом удосконалення конструкції приймача і перетворювача не можна вирішити повністю, без застосування схемних рішень, що реалізують первинну обробку вихідного сигналу сенсора.

1.5. Способи обробки сигналів сенсорів

Для підсилення струму (напруги) піроелектрика і узгодження вихідного опору сенсорів з вхідним опором подальших ланцюгів вимірювальних схем, використовуються різні способи обробки вихідних сигналів. ПС можна розділити на пасивні, де не передбачена первинна обробка електричного сигналу і активні, в яких схеми первинної обробки розташовані разом з пасивним приймачем [19]. Пасивні ПС бувають одноелементні, з однорідною поляризацією всього шару піроелектрика і багатоелементні. У останньому ви-

падку піроелектричні конденсатори сполучають послідовно або паралельно, так що напрям струму або полярність напруги, викликаних поляризацією піроелектрика, протилежні по знаку (рис. 1.5). У такий спосіб досягається зниження впливу паразитного п'єзоелектричного ефекту, але при тому відбувається зниження знаходжувальної здатності ПС.

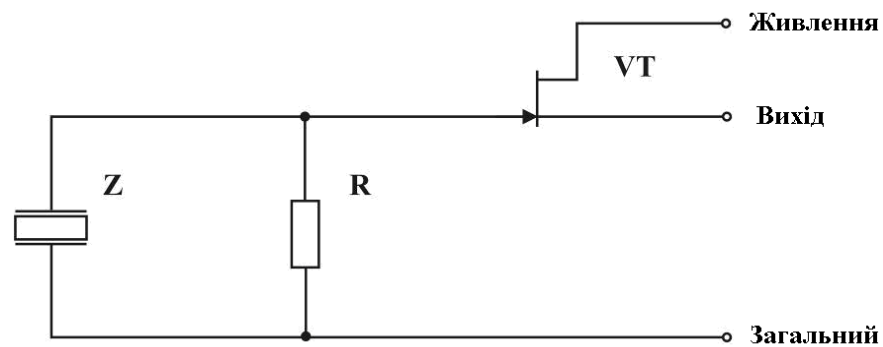
Тому, сенсори можуть передбачати змішане послідовно – паралельне з'єднання пасивних приймачів [19]. Крім того, послідовне з'єднання парної кількості приймачів з додатковим середнім виводом забезпечує вихід з двополярним сигналом, що дозволяє використовувати для подальшої обробки схеми диференційних підсилювачів, що пригнічують синфазні перешкоди [20].



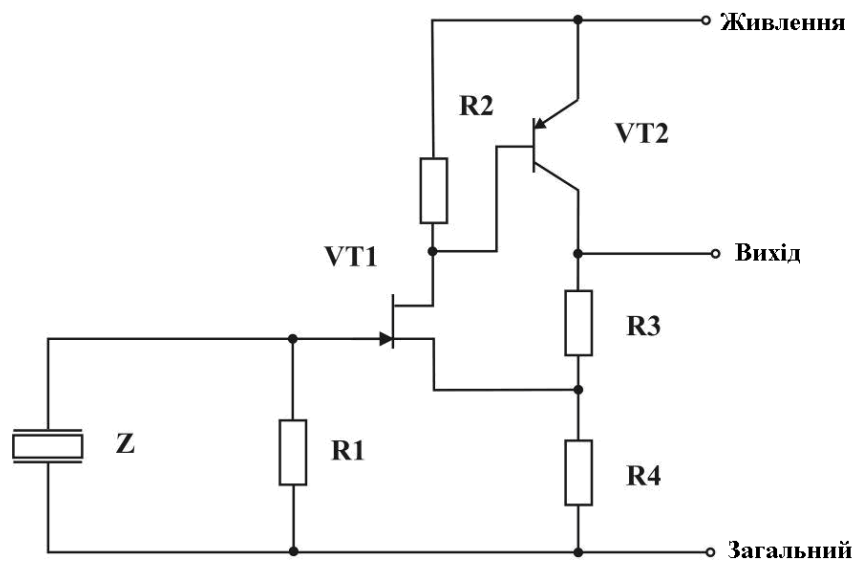
а, б – ПС з двома перетворювачами; в, г – ПС з чотирма перетворювачами; 1 – шар піроелектрика; 2 - піроелектричні перетворювачі з напрямом вектора поляризації, співпадаючим з напрямом падіння випромінювання; 3 - піроелектричні перетворювачі з напрямом вектора поляризації, протилежним напрямом падіння випромінювання

Рисунок 1.5 - Структура багатоелементних сенсорів

Для підсилення сигналів і узгодження високого вихідного опору пасивного ПС з подальшими функціональними вузлами вимірювальних пристроїв, до складу сенсорів включають додаткові схеми попередньої обробки. У одноелементних ПС найчастіше застосовуються однокаскадні (рис. 1.6, а) [11] і двокаскадні підсилювачі (рис. 1.6, б) [12] на польових транзисторах, що володіють хорошим узгодженням по високим значенням вхідного і вихідного опорів. Такий же підхід використовується в багатоеlementних ПС, у яких з'єднання претворювальних елементів не передбачає забезпечення диференційного виходу (рис. 1.7 а, б) [13].



а)

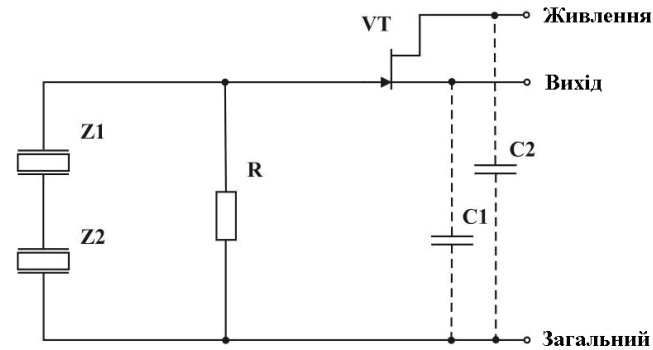


б)

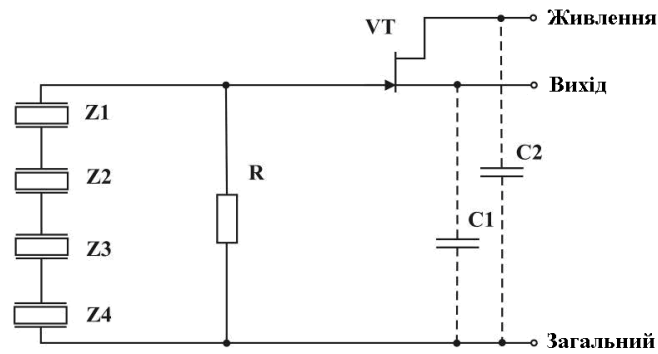
а – схема обробки з польовим транзистором; б – схема обробки з польовим і біполярним транзисторами

Рисунок 1.6 - Схеми обробки сигналів в одноелементних сенсорах

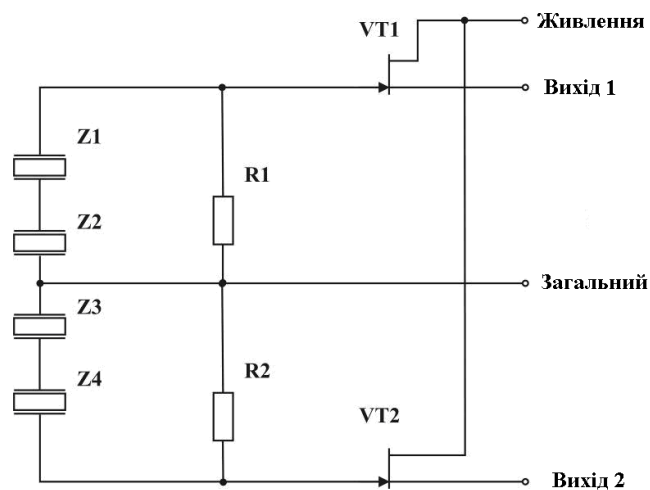
З метою зниження рівня ВЧ шумів між електродами сенсора і загальним виводом (корпусом) включають, як представлено на рис. 1.7, блокувальні конденсатори малої ємкості [20], які не роблять вплив на НЧ корисний сигнал, але шунтують наведені перешкоди.



а)



б)



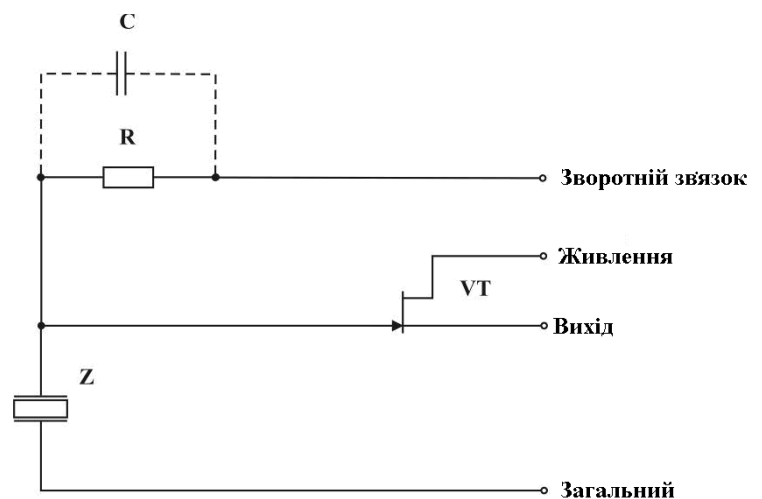
в)

а – двоелементний ПС з польовим транзистором; б – чотирьохелементний ПС з польовим транзистором; в – чотирьохелементний ПС з двома польовими транзисторами

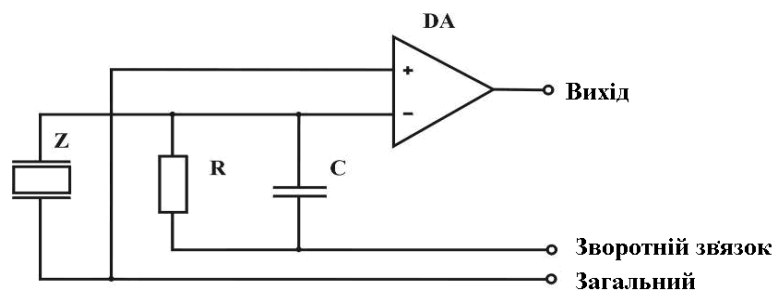
Рисунок 1.7 - Схеми обробки сигналів в багатоелементних сенсорах

На рис. 1.7 в представлені багатоелементні ПС з двополярним виходом, в яких для обробки сигналу використовуються два симетричні каскади на польових транзисторах [21]. В цьому випадку актуальною стає проблема підбору ідентичних параметрів кожного плеча схеми. Розузгодження підсилювача призводить до появи спотворень у вихідному сигналі сенсора. Оскільки неможливо усунути технологічний розкид характеристик транзисторів, вирівнювання режимів роботи підсилювальної схеми здійснюється підбором опорів резисторів R_1 і R_2 (рис. 1.7.в).

У [18] показано, що регулювання режиму роботи каскаду, що погоджує, може проводитися за допомогою підключення ланцюга зворотного зв'язку до сигнального електроду піроелектричного перетворювача, представленого на рис. 1.8.а.



а)



б)

а – з польовим транзистором; б – з операційним підсилювачем

Рисунок 1.8 - Одноелементний сенсор з ланцюжком зворотного зв'язку

Зміна величини постійного струму, що протікає через резистор R , викликає зміну опору переходу «затвор – канал» польового транзистора VT, отже, вхідний опір каскаду також змінюється. Використання RC - ланцюжка передбачає неможливість проходження сигналу перетворювача з сенсора по ланцюгу зворотного зв'язку. Простішою і функціональною виявляється схема реалізації каскаду, що погоджує, на основі операційного підсилювача з ланцюжком зворотного зв'язку, що дозволяє регулювати коефіцієнт підсилення. Як показано в [17], використання ОП приводить до значного збільшення чутливості ПС, яка обмежується умовами теплоізоляції і конструктивними параметрами піроелектричного перетворювача.

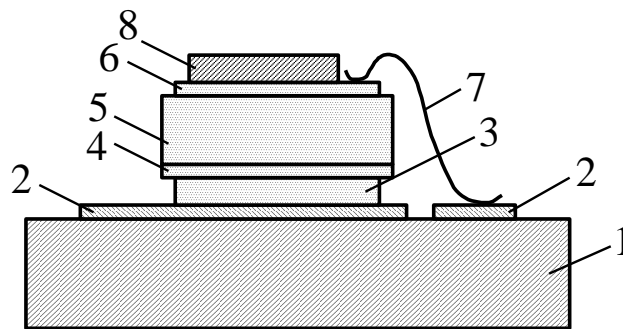
Всі розглянуті схемні вирішення попередньої обробки в сучасних ПС реалізуються шляхом інтеграції окремих функціональних елементів в мікроелектронні конструкції сенсорів. Тому переважним представляється схема обробки, яка володіла б наступними характеристиками:

- високим вхідним опором, з можливістю зміни в процесі функціонування ПС для кращого узгодження вихідного опору сенсора з вхідним опором схеми обробки і забезпечення високого рівня чутливості по напрузі;
- високим коефіцієнтом посилення для отримання високого рівня вихідного сигналу ПС;
- автоматичним регулюванням підсилення схеми обробки для зниження рівня спотворень вихідного сигналу ПС;
- малою кількістю елементів схеми попередньої обробки з метою її інтеграції до структури ПС;
- можливістю сполучення по рівню сигналів з цифровими вимірювальними системами.

1.6. Інтегральні сенсори

Піроелектричний елемент пасивного ПС генерує слабкі сигнали, які скрутно обробляти вимірювальними схемами, оскільки при передачі по лініях зв'язку відбувається спотворення і загасання амплітуди імпульсів. Підви-

щенню рівня вихідного сигналу ПС сприяє збільшення площі піроелектрика, що у свою чергу погіршує його термічну ізоляцію і збільшує розміри сенсора. Традиційно така проблема вирішується шляхом створення активних ПС на основі гібридних конструкцій, що містять чутливий елемент, сполучений дротяними або плівковими провідниками з безкорпусними елементами схем попередньої обробки (рис. 1.9) [18]. Електронне обрамлення таких сенсорів має гранично простий вигляд із-за невисокого ступеня інтеграції в рамках гібридної технології.



1- ізолююча підкладка; 2- струмопровідні доріжки; 3- струмопровідний клей; 4- металева плівка – загальний контакт; 5- піроелектричний матеріал; 6- металева плівка – сигнальний контакт; 7- дротяна сполучна перемичка; 8- поглинаюче випромінювання покриття

Рисунок 1.9 - Гібридна конструкція пасивного ПС

Об'єднання ПС і схем обробки на одній підкладці дозволяє збільшити ступінь мініатюризації вимірювальних систем, а також мінімізувати паразитний вплив міжелементних з'єднань на інформаційний сигнал.

Таким чином, метою дипломної роботи є розробка системи температурно-тактильних датчиків на основі піроелектричних перетворювачів. Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- розробка схеми обробки сигналів матриці сенсорів;
- розробка програмного забезпечення керування мікроконтролером;
- дослідження розробленої системи;
- розробка печатної плати системи обробки;
- дослідження розпізнавання інформації температурно-тактильного датчика.

2 РОЗРОБКА ТЕМПЕРАТУРНО-ТАКТИЛЬНОГО ДАТЧИКА

2.1 Розробка структури матриці температурно-тактильних сенсорів

Структурна схема матриці температурно-тактильних сенсорів розроблена на основі піроелектричних чутливих елементів, показана на рис. 2.1.

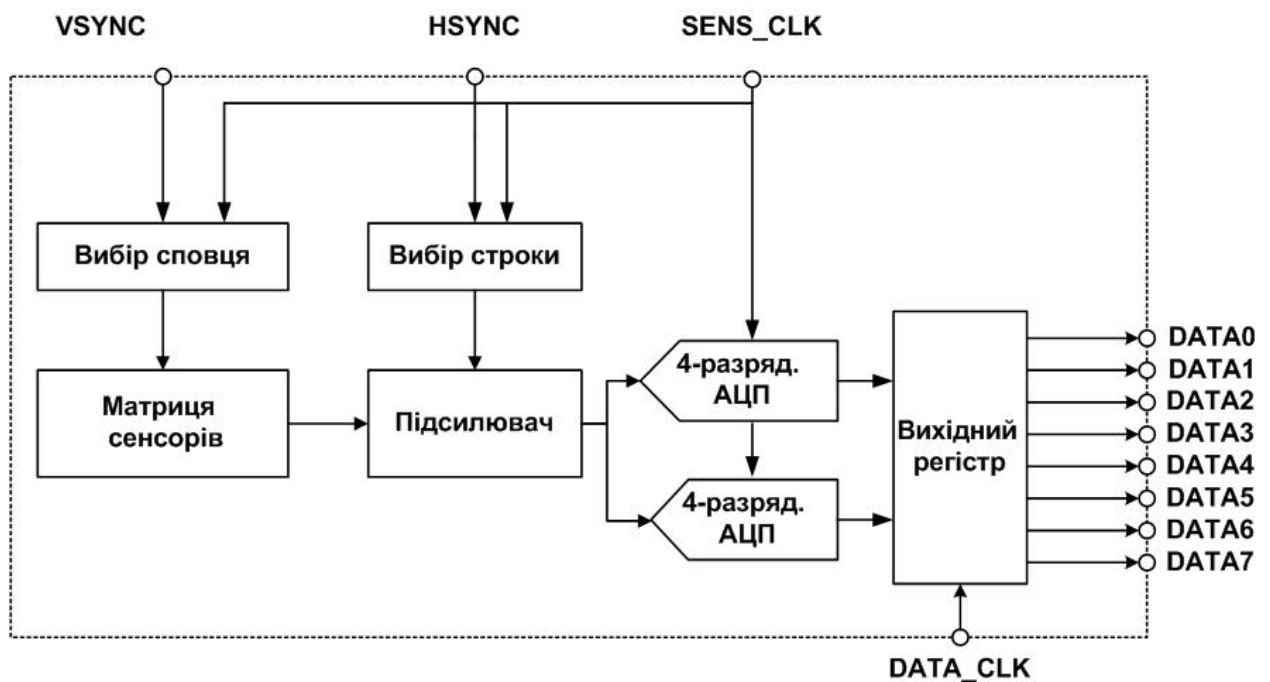


Рисунок 2.1 - Структурна схема матриці температурно-тактильних сенсорів

Архітектура матриці заснована на фіксації зміни температури і тиску сенсорними комірками, що представляють піроелектричні перетворювачі на основі полівініліденфториду. Вихідний сигнал матриці передається в цифровій формі для подальшої обробки з паралельного інтерфейсу DATA0 – DATA7. Швидкість передачі даних при цьому визначається зовнішнім синхросигналом, що подається на вивід DATA_CLK.

Матриця сенсорів має розмірність 640 x 480 елементів, створюючих картину розподілу теплового поля під дією пальця, що прикладається. Розмірність матриці дозволяє використовувати стандартні методи обробки зображень, прийняті в сучасній техніці.

Під дією сигналів вертикальної (VSYNC) і горизонтальної розгортки (HSYNC) відбувається сканування матриці сенсорів, сигнал з яких після посилення перетвориться в цифровий код за допомогою двох чотирирозрядних АЦП, оброблювальних відповідно парні і непарні комірки. Т.ч., для передачі кадрів відсутня необхідність застосування механізму захоплення кадру або погоджувачого інтерфейсу. Ці особливості дозволяють використовувати розроблену матрицю для виконання функцій ідентифікації або верифікації.

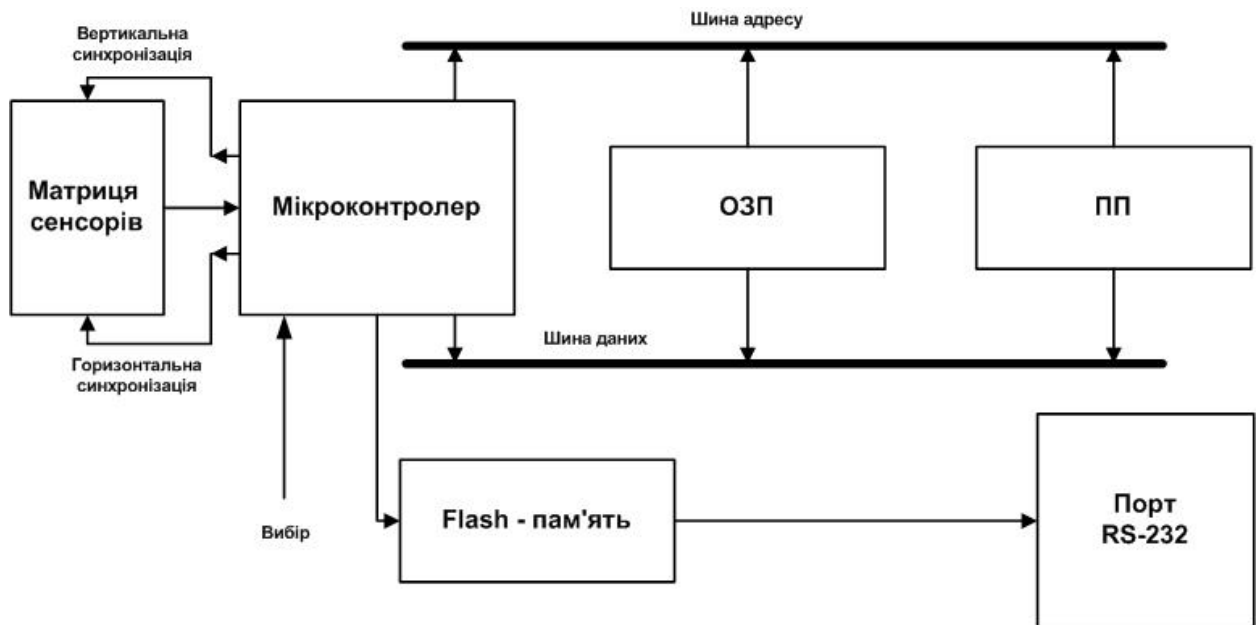
Схема матриці також передбачає використання системи корекції паразитної дії на результати вимірювань зміни температури підкладки, що підвищує достовірність розпізнавання.

2.2 Розробка структури температурно-тактильного датчика

Для управління матрицею температурно-тактильних сенсорів розроблена структурна схема системи обробки, показана на рис. 2.2. Основним блоком розробленої схеми є мікроконтролер у функції якого входить:

- забезпечення вибірки результатів вимірювань за допомогою завдання режимів горизонтальної і вертикальної синхронізації;
- запис результатів вимірювань в статичний запам'ятовуючий пристрій;
- управління процесом передачі інформації через послідовний порт RS-232 у комп'ютер для подальшого аналізу програмними методами.

У системі здійснюється послідовне сканування елементів матриці, причому напрям і порядок сканування можна змінювати на програмному рівні. Т.ч., можливо здійснювати зміну розміру і координат розташування "активного вікна" матриці сенсорів. В цьому випадку здійснюється сканування не всіх елементів повної матриці, а тільки елементів, включених в задане "активне вікно", що має прямокутну форму. Координати вершин прямокутника запам'ятовуються в регістрах ОЗП, а їх вміст можна змінювати на програмному рівні.



ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій

ПП – Програмна пам'ять

Рисунок 2.2 – Структурна схема системи обробки сигналів матриці сенсорів

У кадрі інформації, що формується в системі, можуть бути відсутніми вибірки сигналу елементів, розташованих в кожному другому рядку, в кожному другому стовпці або в цих рядках і стовпцях одночасно (режим формування кадру 2:1). У режимі 4:2 в сформованому кадрі інформації відсутні вибірки сигналу, одержані від елементів, розташованих в двох з кожних чотирьох рядків або стовпців, або рядків і стовпців одночасно. Управління всіма режимами формування кадру інформації і порядок сканування матриці здійснюється на програмному рівні. Також може використовуватися режим роботи, в якому відбувається фіксація інформації в заданий момент часу.

2.3 Розробка схеми електричної принципової температурно-тактильного датчика

На основі структурної схеми температурно-тактильного датчика, наведеної на рис. 2.2, була розроблена схема електрична принципова, що показана на рис.2.3. Перелік елементів до схеми електричною принциповою приведений в Додатку А.

Як основний програмний керований пристрій в розробленій схемі використовується восьмирозрядний AVR - мікроконтролер ATmega128 [22], функціональна схема якого приведена на рис. 2.4. Особливостями цього мікроконтролера є:

- складна RISC-архітектура;
- незалежна пам'ять програм і даних;
- можливість внутрісистемного програмування вбудованою програмою;
- можливість читання під час запису;
- можливість програмування флеш-пам'яті, ЕЗППЗП, біт конфігурації і захисту через інтерфейс JTAG;
- два восьмирозрядні таймери - лічильника з роздільними переддільниками і режимами порівняння і два розширені шестнадцятирозрядні таймери - лічильника з окремими переддільниками, режимами порівняння і режимами захоплення;
- 8 несиметричних каналів; 7 диференціальних каналів; 2 диференціальних каналу з вибіркоким посиленням з 1x, 10x і 200x ;

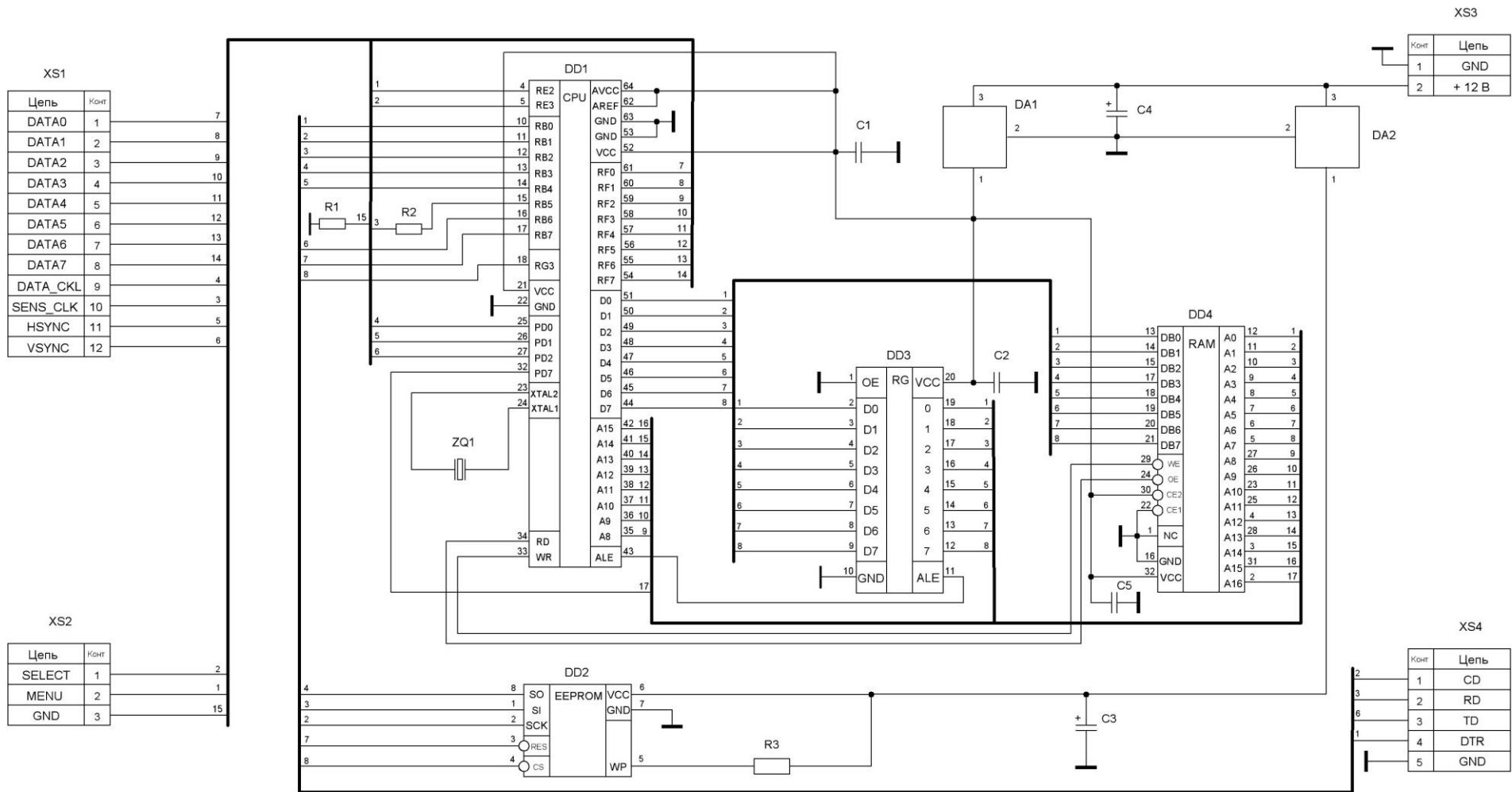


Рисунок 2.3 – Схема электрична принципова температурно-тактильного датчика

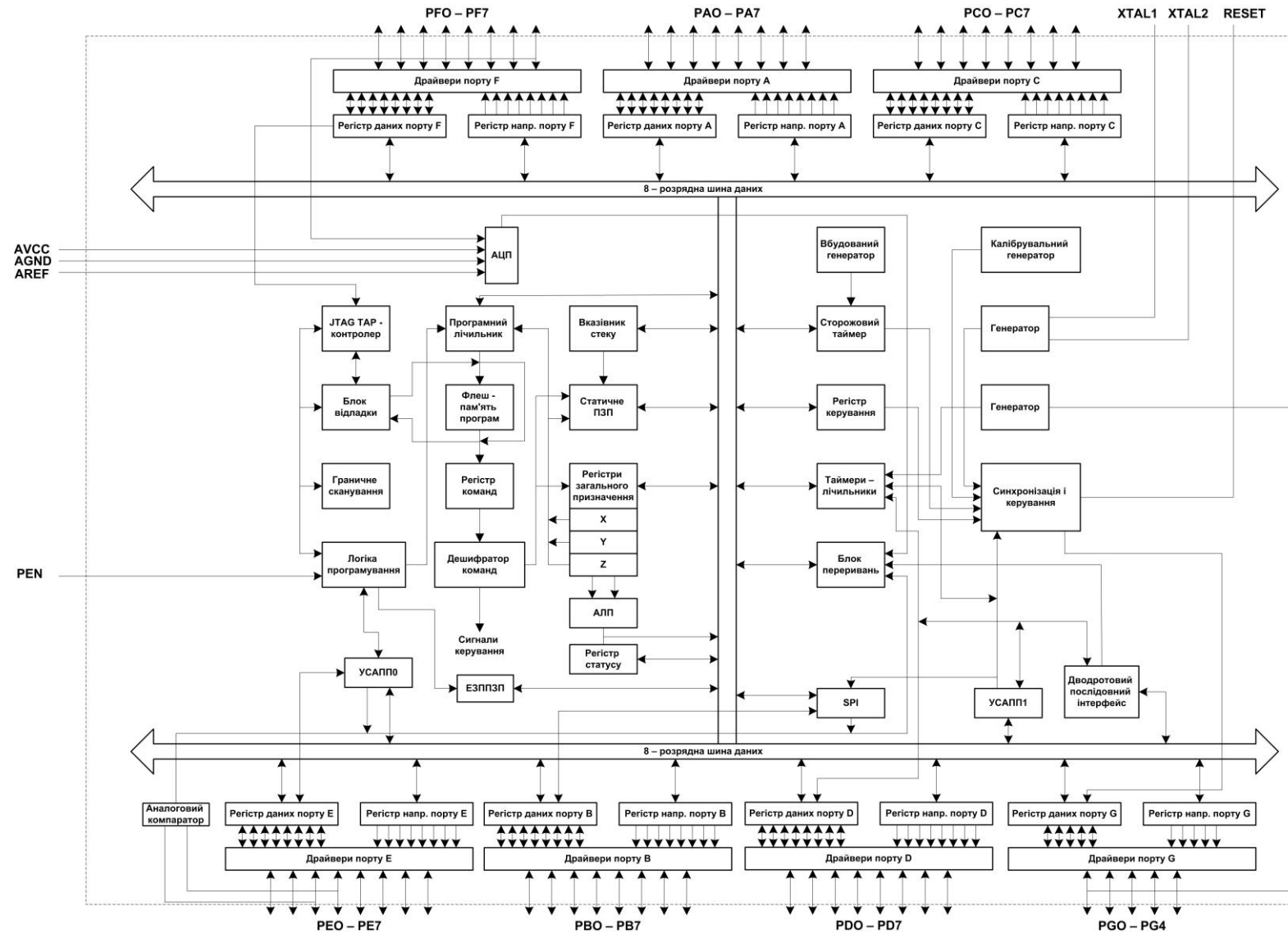


Рисунок 2.4 – Функціональна схема мікроконтролера ATmega128

- двопровідний послідовний інтерфейс, орієнтований на передачу даних в байтном форматі;
- послідовний інтерфейс SPI з підтримкою режимів ведучий/підлеглий;
- численні сервісні можливості: скидання при подачі живлення і програмована схема скидання при зниженні напруги живлення; вбудований RC-генератор, що калібрується; зовнішні і внутрішні джерела переривань; 6 режимів зниження енергоспоживання; програмний вибір тактової частоти і т.д.;
- градація за швидкістю в межах 0 - 16 МГц.

Ядро AVR поєднує великий набір інструкцій з 32 універсальними робочими регістрами. Всі 32 регістри безпосередньо підключені до арифметико-логічного пристрою (АЛП), який дозволяє вказати два різні регістри в одній інструкції і виконати її за один цикл. Така архітектура володіє більшою ефективністю коду за рахунок досягнення продуктивності в 10 разів вище в порівнянні із звичайними CISC-мікроконтролерами.

ATmega128 містить наступні елементи: 128 Кбайт програмованої флеш-пам'яті з підтримкою читання під час запису, 4 Кбайт ЕЗППЗП, 4 Кбайт статичного ОЗП, 53 лінії універсального введення-виведення, 32 універсальних робочих регістра, лічильник реального часу (RTC), чотири гнучкі таймери-лічильник з режимами порівняння і широтно – імпульсною модуляцією (ШІМ), двопровідний послідовний інтерфейс орієнтований на передачу байт, восьмиканальний десятирозрядний АЦП з опціональним диференціальним входом з програмованим коефіцієнтом посилення, програмований сторожовий таймер з внутрішнім генератором, послідовний порт SPI, випробувальний інтерфейс JTAG сумісний із стандартом IEEE 1149.1, який також використовується для доступу до вбудованої системи відладки і для програмування, а також шість програмно вибраних режимів зменшення потужності. Режим холостого ходу (Idle) зупиняє ЦПП, але при цьому підтримує роботу статичного ОЗП, таймерів-лічильників, SPI-порту і системи переривань. Режим виключення (Powerdown) дозволяє зберегти вміст регістрів, при зупиненому генераторі і виключенні вбудованих функцій до наступного переривання або апаратного скидання. У економічному режимі (Power-save) асинхрон-

ний таймер продовжує роботу, дозволяючи користувачу зберегти функцію відліку часу, коли решта частини контролера знаходиться в стані сну. Режим зниження шумів АЦП (ADC Noise Reduction) зупиняє ЦПП і всі модулі введення-висновку, окрім асинхронного таймера і АЦП для мінімізації імпульсних шумів в процесі перетворення АЦП. У черговому режимі (Standby) кварцовий резонатор/генератор продовжує роботу, а решта частини мікроконтролера знаходиться в режимі сну. Цей режим характеризується низькою споживаною потужністю, але при цьому дозволяє досягти найшвидшого повернення в робочий режим. У розширеному черговому режимі (Extended Standby) основний генератор і асинхронний таймер продовжують працювати.

Мікроконтролер виконаний за технологією високощільної незалежної пам'яті компанії Atmel. Вбудована внутрісистемна програмована флеш-пам'ять дозволяє перепрограмувати пам'ять програм безпосередньо усередині системи через послідовний інтерфейс SPI за допомогою простого програматора або за допомогою автономної програми в завантажувальному секторі. Завантажувальна програма може використовувати будь-який інтерфейс для завантаження прикладної програми у флеш-пам'ять. Програма в завантажувальному секторі продовжує роботу в процесі оновлення прикладної секції флеш - пам'яті, тим самим підтримуючи двоопераційність: читання під час запису. За рахунок поєднання 8-розр. RISC ЦПП з внутрішньосистемною самопрограмованою флеш - пам'яттю в одній мікросхемі ATmega128 є мікроконтролером, що дозволяє досягти високого ступеня гнучкості і ефективної вартості при розробці системи біометричної ідентифікації.

В цілях досягнення максимальної продуктивності і паралелелізму у мікроконтролера використовується Гарвардська архітектура з роздільними пам'яттю і шинами програм і даних. Команди в пам'яті програм виконуються з однорівневою конвейеризацією. В процесі виконання однієї інструкції наступна заздалегідь прочитується з пам'яті програм. Така концепція дозволяє виконувати одну інструкцію за один машинний цикл. Пам'ять програм є внутрішньосистемною самопрограмованою флеш - пам'яттю.

Регістровий файл з швидким доступом містить 32 восьмирозрядних робочих реєстрів загального призначення з однотоковим циклом доступу. Завдяки цьому забезпечується однотоковість роботи АЛП. При звичайній роботі АЛП спочатку з реєстрового файлу завантажуються два операнди, потім виконується операція, а після результат відправляється назад в реєстровий файл і все це відбувається за один машинний цикл. 6 реєстрів з 32 можуть використовуватися як три шістнадцятирозрядні реєстри непрямої адреси для адресації в межах пам'яті даних. Один з цих покажчиків адреси може також використовуватися як покажчик адреси для доступу до таблиці перетворення у флеш - пам'яті програм.

АЛП підтримує арифметичні і логічні операції між реєстрами, а також між константою і реєстром. Крім того, АЛП підтримує дії з одним реєстром. Після виконання арифметичної операції реєстр статусу оновлюється для відображення результату виконання операції.

Для розгалуження програми використовуються інструкції умовних і безумовних переходів і викликів процедур, що дозволяє безпосередньо адресуватися в межах адресного простору. Більшість інструкцій є одним шістнадцятирозрядним словом. Кожна адреса пам'яті програм містить 16 - або 32 розрядну інструкцію. Флеш - пам'ять програм розділена на дві секції: секція програми початкового завантаження і секція прикладної програми. Обидві секції мають роздільні біти захисту від запису і читання / записи.

При генерації переривання і виклику підпрограм адреса повернення з програмного лічильника записується в стек. Стек розподілений в статичному ОЗП пам'яті даних і, отже, розмір стека обмежений загальним розміром статичного ОЗП і використовуваним його об'ємом. У програмі, що управляє, відразу після скидання виконується ініціалізація покажчика стека (SP). Покажчик стека – SP – доступний на читання і запис в просторі введення-виведення. Доступ до статичного ОЗП даних здійснюється через 5 різних режимів адресації архітектури.

Модуль переривань містить свої реєстри, що управляють, в просторі введення-виведення і має додатковий біт загального дозволу роботи системи

переривань в реєстрі статусу. У всіх переривань є свій вектор переривання відповідно до таблиці векторів переривань. Переривання мають пріоритет відповідно до позиції їх вектора. Переривання з меншою адресою переривання мають вищий пріоритет.

Спільно з ATmega128 у розробленій схемі використовується статичний ОЗП DD2 на основі AT45DB041B [23]. Цей статичний ОЗП займає частину, що залишилася, від адресного простору розміром 64 Кбайт. Ця частина починається з адреси наступного за внутрішнім статичним ОЗП. Файл реєстрів, пам'ять введення-виведення, пам'ять розширеного введення-виведення і внутрішнє статичне ОЗП займають молодші 4352 байти в нормальному режимі. Доступ до зовнішнього статичного ОЗП здійснюється автоматично за допомогою тих же інструкцій, що і для внутрішнього ОЗП, якщо вказане значення адреси знаходиться за межами внутрішньої пам'яті даних. При адресації внутрішньої пам'яті сигнали читання і запису зовнішньої пам'яті (висновки PG0 і PG1) неактивні в процесі всього циклу доступу. Робота DD2 дозволяється шляхом встановлення біту SRE в реєстрі MCUCR.

Доступ до DD2 вимагає ще одного машинного циклу на байт в порівнянні з доступом до внутрішнього статичного ОЗП. Це означає, що на виконання команд LD, ST, LDS, STS, LDD, STD, PUSH і POP буде потрібно один додатковий цикл. Якщо стек буде розміщений у DD2, то, відповідно, виклик і повернення з підпрограм і процедур обробки переривань триватиме на три машинні цикли довше за рахунок поміщення в стек і витягання із стека двобайтового лічильника програми і не використання під час доступу до зовнішньої пам'яті переваги конвейєрного доступу до внутрішньої пам'яті. Якщо інтерфейс DD2 використовується із станами очікування (з пониженою швидкістю), то одnobайтний зовнішній доступ потребує 2, 3 або 4 додаткових машинних циклів для 1, 2 і 3 станів очікувань, відповідно. Т.ч., виклик і повернення з переривань і підпрограм потребує ще 5, 7 і 9 машинних циклів (на відміну від значень приведених в описі набору інструкцій) для 1, 2 і 3 станів очікування, відповідно.

З матриці сенсорів на схему обробки поступає безперервний потік даних, який синхронізується сигналами. Зупинити цей потік програмно неможливо. Щоб перетворити формат даних, що виходить з матриці, потрібна обчислювальна обробка даних. Додаткову затримку в системі обробки також забезпечує необхідність представлення інформації у форматі послідовного інтерфейсу для передачі в комп'ютер. При тому, що DD1 має тактову частоту 20 МГц, цієї швидкодії виявляється недостатньо для управління матрицею, або слід сильно знизити її тактову частоту. Для вирішення цього завдання без зниження максимально досяжної швидкодії передбачено використання зовнішню пам'ять DD4. Пам'ять дозволяє зберегти кадр цілком, а потім повністю обробити його. Після подачі живлення система переходить в режим виведення безперервного потоку даних, що поступають з датчика. Для динамічного управління системою передбачено дві кнопки - Menu і Sel. Кнопка Menu дозволяє записати повну вибірку матриці в пам'ять. У цьому режимі кнопкою Sel вибирається місце збереження кадру. Також кнопкою Sel можна передавати збережені кадри в комп'ютер за вибором оператора. Натиснувши в цьому режимі кнопку Menu, користувач повертається в режим сканування.

2.4 Розробка програмного забезпечення температурно-тактильного датчика

Алгоритм програмного забезпечення, що управляє роботою апаратної частини температурно-тактильного датчика, показаний на рис. 2.5. Для ініціалізації системи спочатку здійснюється завдання параметрів мікроконтролера і COM – порту, забезпечуючих отримання даних від матриці сенсорів і передачі їх по послідовному інтерфейсу в комп'ютер. Далі виконується синхронізація роботи датчика і системи обробки результатів сканування матриці.

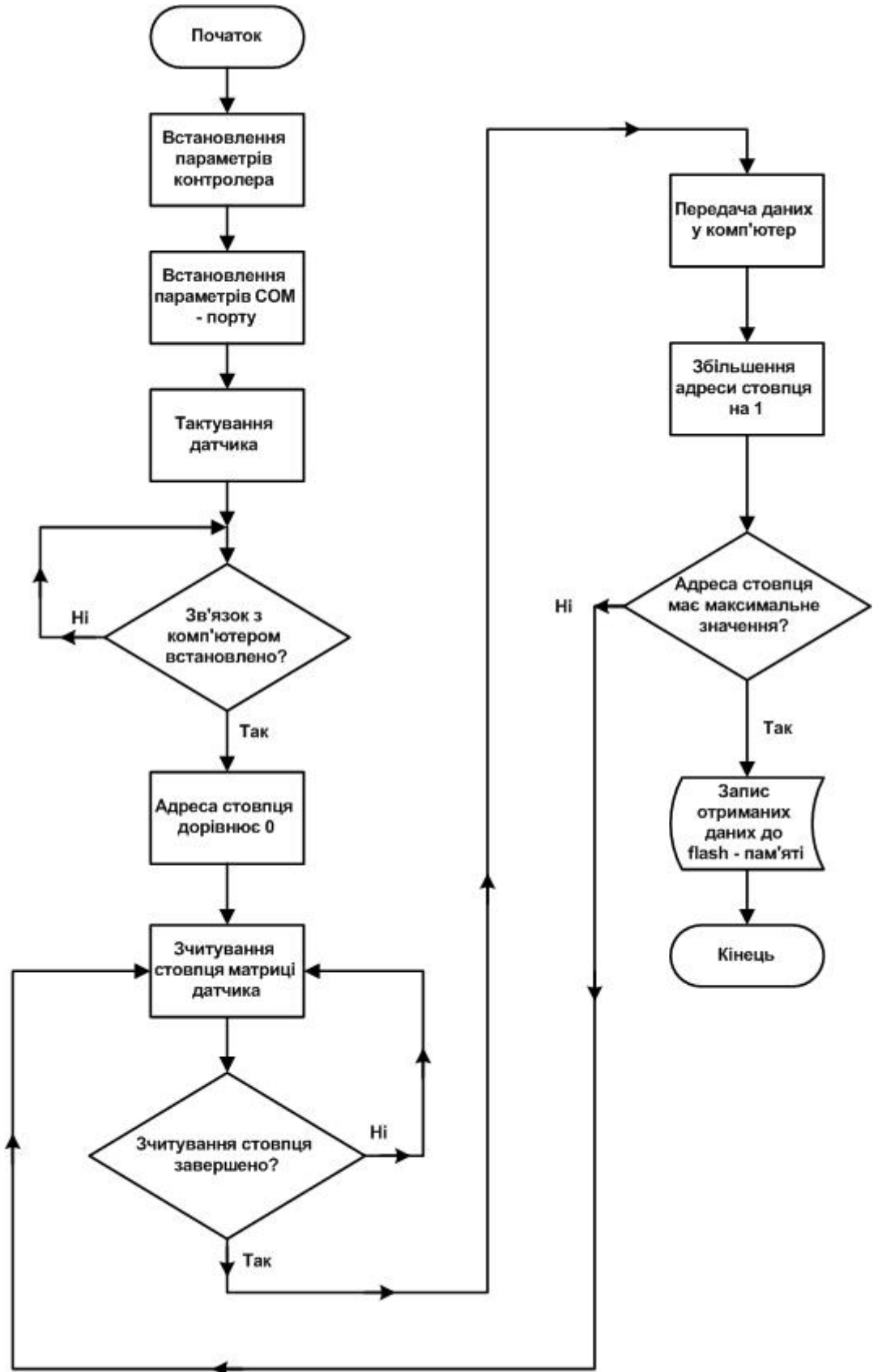


Рисунок 2.5 – Блок – схема алгоритму роботи програмного забезпечення мікроконтролера температурно-тактильного датчика

На наступному етапі програмне забезпечення перевіряє доступність каналу передачі даних на комп'ютер і у разі відсутності зв'язку переводиться в режим очікування. При отриманні позитивної квінтації, контролер виконує зчитування свідчень комірок матриці сенсорів і запис цих результатів в оперативну пам'ять пристрої і флеш – пам'ять системи. Після закінчення сканування виконується передача даних через СОМ – порт в комп'ютер зі встановленою системою розпізнавання дотиків. Далі, після підтвердження отримання даних комп'ютером, система знову переводиться в режим очікування подальшого сеансу сканування.

Програмне забезпечення розроблене на основі запропонованого алгоритму в середовищі Vascom, що є адаптованою версією мови Basic, призначеною для створення систем управління на платформі мікроконтролерів ATmega128 [22].

Синтезований код програмного забезпечення приведений в Додатку Б. Розроблене програмне забезпечення включає основний модуль і модулі підпрограм, що викликається основною частиною. До них відносяться:

- Clear_screen – підпрограма очищення дисплея комп'ютера;
- Word_out – підпрограма передачі інформації на дисплей комп'ютера;
- Byte_out – підпрограма передачі команд дисплея;
- S65_init – підпрограма ініціалізації дисплея комп'ютера;
- Window_locate – підпрограма визначення положення робочого вікна системи;
- Cspulse – підпрограма подачі короткого імпульсу;
- Command_send – підпрограма передачі команд комп'ютеру;
- Data_send – підпрограма прямої передачі даних на дисплей;
- String_print – підпрограма виведення рядків на дисплей;
- Sym_locate – підпрограма визначення зони для виведення числових параметрів;
- Lcd_digit_print – підпрограма виведення числових значень на екран;
- Bytein – підпрограма обробки команд комп'ютера;
- Page_read – підпрограма читання флеш – пам'яті в комп'ютер;

- Page_write – підпрограма запису флеш – пам'яті з комп'ютера;
- Buffer1_to_flash – підпрограма запису кадру в флеш – пам'ять
- Buffer1_write – підпрограма запису кадру в оперативну пам'ять.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє здійснити сканування матриці сенсорів за 112 мс і займає 145 кБ в постійній пам'яті.

2.5 Моделювання обміну даними мікроконтролера з зовнішньою пам'яттю

Так як розроблене програмне забезпечення має обсяг 145кБ, то для його зберігання необхідно задіяти зовнішні ПЗП. Також для тимчасового зберігання і обробки вимірювальної інформації у схемі датчика передбачено використання зовнішнього ОЗП. З метою перевірки працездатності розробленої системи мікроконтролерного керування матрицею сенсорів було виконано її моделювання у середовищі Proteus [24]. Завдання для моделювання наведено на рис. 2.6.

До складу завдання входить мікроконтролер U3, до якого зовнішнім файлом під'єднано ОЗП U1 і зовнішній тактовий генератор на основі U2 та X1. Результати спостерігаються на екрані віртуального осцилографа та емулятора послідовного інтерфейсу.

Спільно з ATmega128 використовується статичне ОЗП. Це статичне ОЗП займає частину від адресного простору розміром 64 кБ. Ця частина починається з адреси, що є наступною після адреси внутрішнього статичного ОЗП. Файл регістрів, пам'ять введення-виведення, пам'ять розширеного вводу-виводу і внутрішнє статичне ОЗП займають молодші 4352 байта в нормальному режимі. Таким чином, при використанні зовнішньої пам'яті розміром 64 кБ з них доступно 61184 байта в нормальному режимі. Доступ до зовнішнього статичного ОЗП здійснюється автоматично за допомогою тих же інструкцій, що і для внутрішнього ОЗП, якщо вказане значення адреси знахо-

диться за межами внутрішньої пам'яті даних. Робота зовнішнього статичного ОЗП дозволяється шляхом установки біта SRE в регістрі MCUCR. Доступ до зовнішнього статичного ОЗП вимагає ще одного машинного циклу на байт в порівнянні з доступом до внутрішнього статичного ОЗП. Це означає, що на виконання команд завантаження потрібно один додатковий цикл.

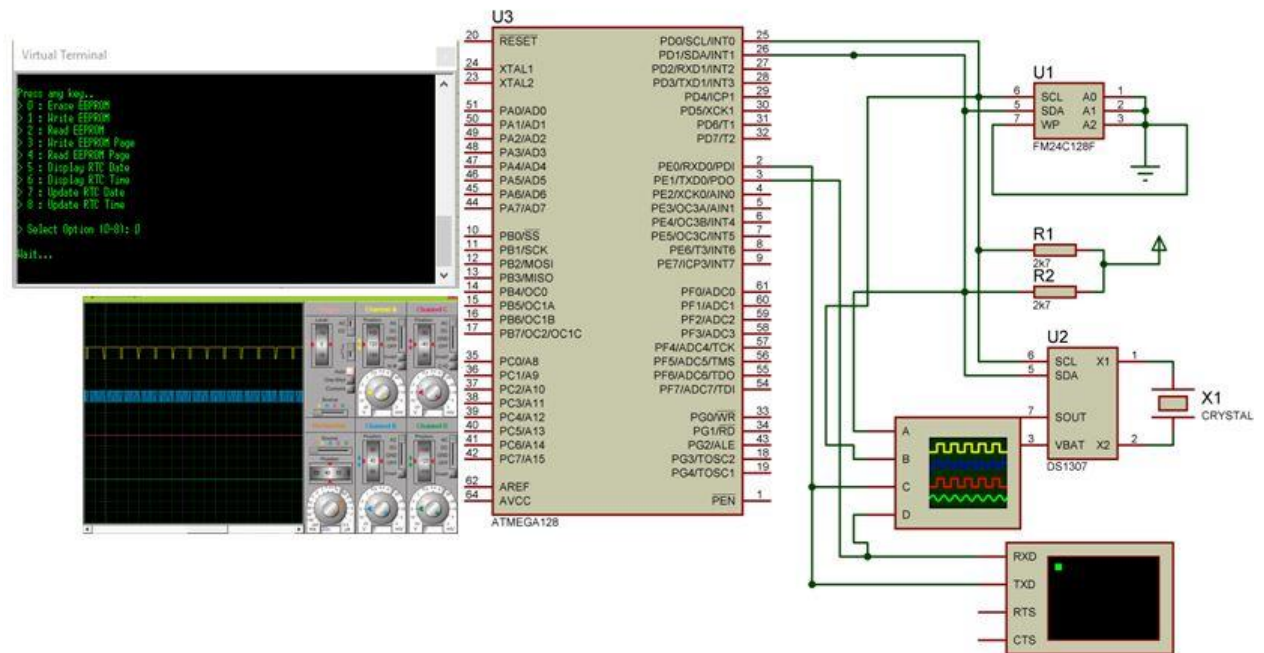
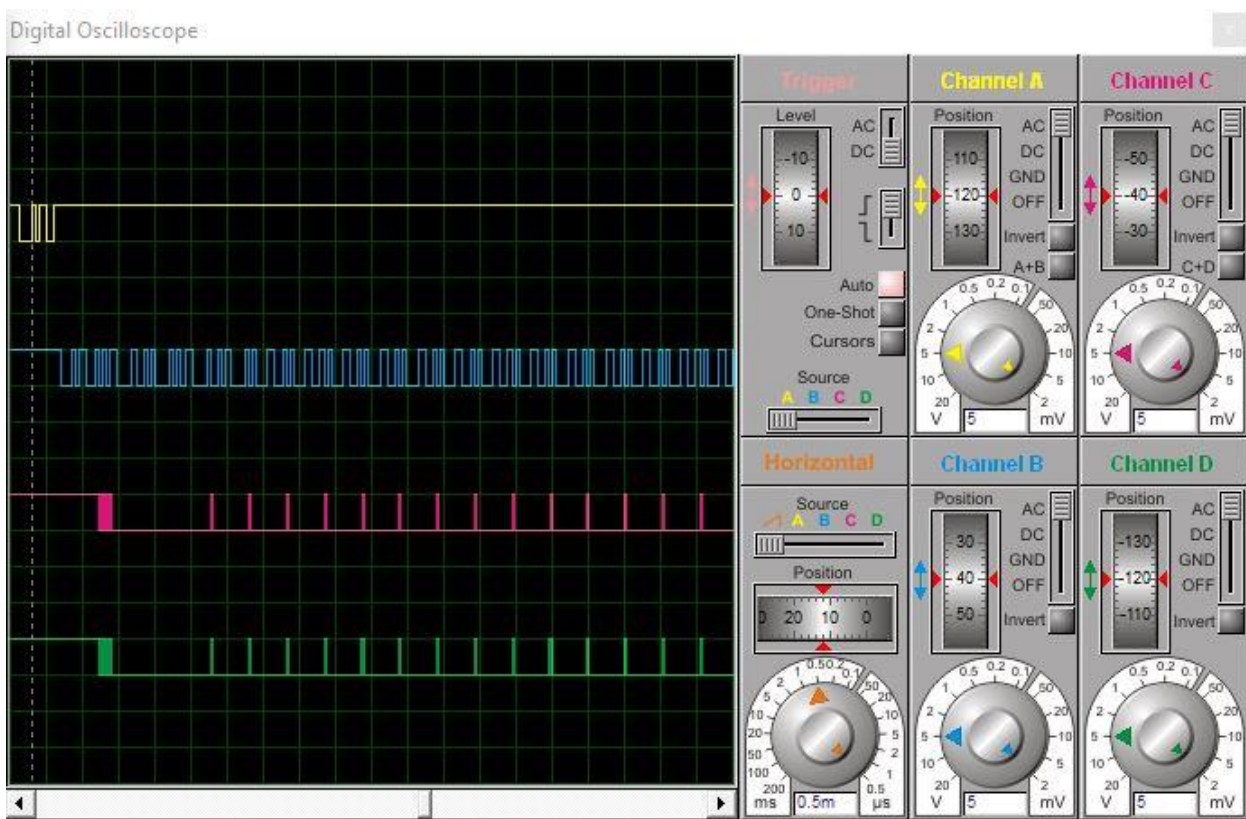


Рисунок 2.6 – Завдання для моделювання мікроконтролера

Отримані таким чином епюри сигналів наведено на рис. 2.7 – 2.8. Якщо стек буде розміщений у зовнішньому статичному ОЗП, то, відповідно, виклик і повернення з підпрограм і процедур обробки переривань триватиме на 3 машинних циклу довше. Це відбувається за рахунок запису до стеку і вилучення зі стека двобайтного лічильника програм і відсутністю конвеєрного доступу до внутрішньої пам'яті. Фізично і логічно ПЗП знаходиться в окремому адресному просторі, а читання з EEPROM і запис туди здійснюється через спеціальні порти. Цей тип пам'яті, доступний програмі мікроконтролера безпосередньо в ході її виконання, використовується у розробленому датчику для зберігання проміжних даних, констант, коефіцієнтів. EEPROM може бути завантажено ззовні через SPI інтерфейс.

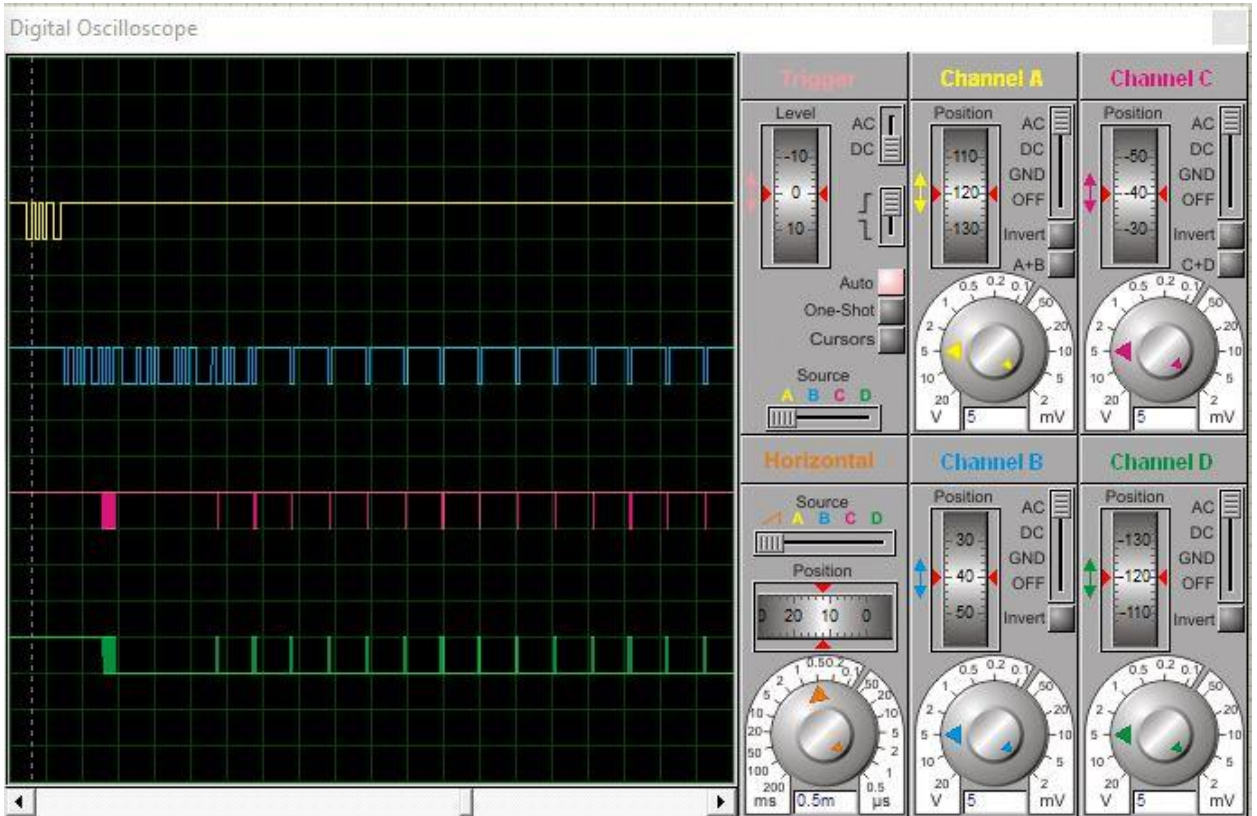


а)

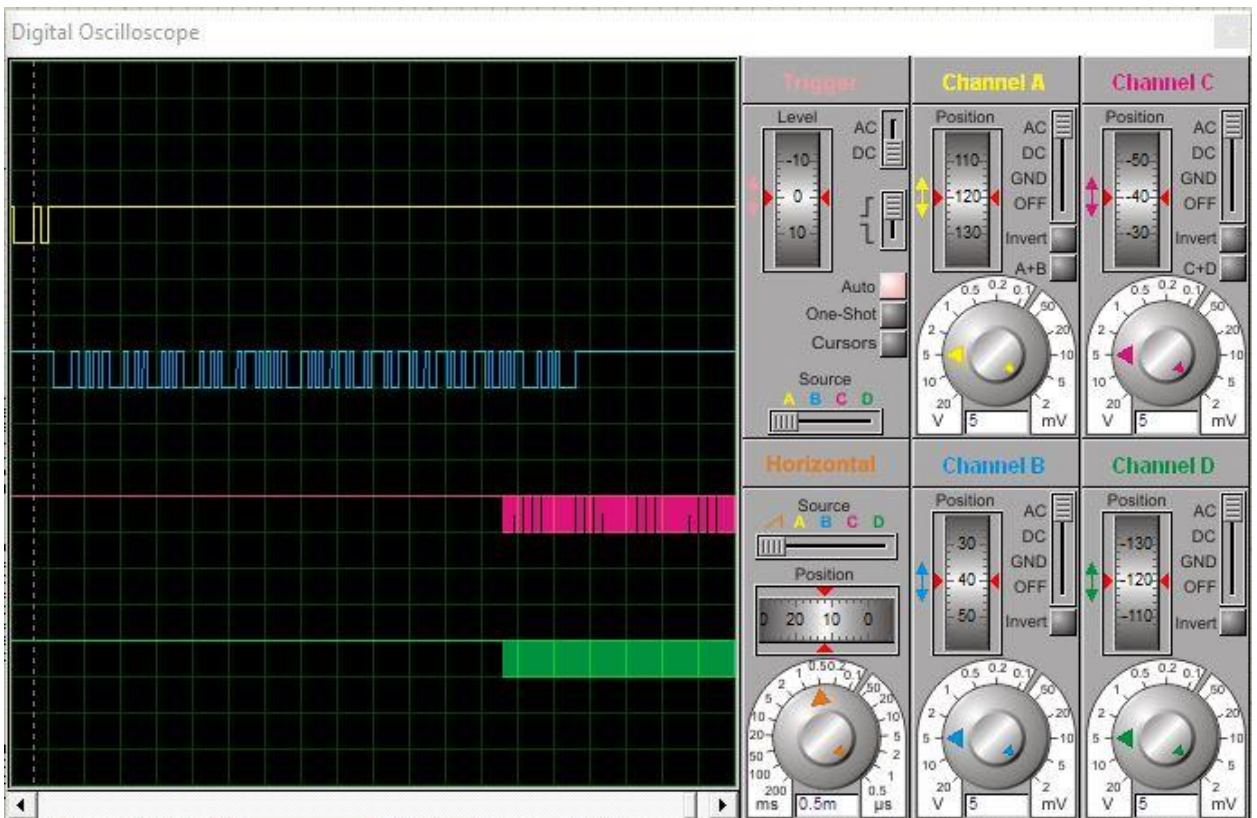


б)

Рисунок 2.7 – Епюри сигналів при виконанні побітного (а) і кадрового (б) запису даних мікроконтролером до зовнішньої пам'яті



а)



б)

Рисунок 2.8 – Епюри сигналів при виконанні кадрового (а) і побітного (б) зчитування даних мікроконтролером із зовнішньої пам'яті

Зчитування відбувається наступним чином. Спочатку отримується сигнал готовності пам'яті, потім заноситься до регістрів потрібна адреса, а потім виставляємо біт читання EERE (EEPROM Read Enable), і за допомогою такої команди зчитується з регістру даних EEDR необхідне значення, що зберігається в регістрі загального призначення.

На рис. 2.7 – 2.8 наведено дві процедури - зчитування і запис. Щоб записати байт, потрібно в регістри R17 і R18 занести молодший і старший байт адреси осередка, а в регістр R21 байт який потрібно записати. Після чого викликається процедура запису. Аналогічно і з читанням - до регістра R17 і R18 адреса, а в регістрі R21 буде зчитане значення.

Передана і приймається інформація зазвичай представляється у вигляді однобайтових або багатобайтових слів (кадрів). Вага кожного біта в слові різна, тому крім бітової синхронізації, аналогічної байтової синхронізації для паралельного порту, здійснюється кадрова синхронізація. Кадрова синхронізація дозволяє однозначно визначати номер кожного біта в переданому слові. Часові діаграми передачі кадру з синхронного послідовного порту приведено на рис. 2.7 (б), 2.8(а). На наведених часових діаграмах показані два сигнали синхронізації: сигнал тактової синхронізації CLK і сигнал кадрової синхронізації FS. Сигнал кадрової синхронізації формується апаратно з сигналу WR # під час запису чергового байта до регістру зсуву.

У розглянутій схемі мікроконтролер підраховує кількість тактових імпульсів, що минув після імпульсу кадрової синхронізації. Крім того, в такому синхронному послідовному порту інформація передається безперервно, що зручно для матриці сенсорів з безперервним потоком інформації.

Крім того, у розробленій системі використовується обмін даними із зовнішнім комп'ютером за допомогою послідовного інтерфейсу RS-232, емулятор якого застосовується у завданні для моделювання. Коли обміну даними немає, на лініях RxD або TxD присутній високий рівень сигналу (рис. 2.8 (б)). Кадр починається зі стартового біта (сигнальні лінії RxD або TxD переводяться в стан логічного нуля), за яким слідує молодший біт слова даних, що складається з 5-9 інформаційних розрядів. Завершують кадр один або два

степових бита. Отримавши стартовий біт, комп'ютер вибирає з лінії біти даних через певні інтервали часу.

Т.ч., проведені дослідження дозволили оптимізувати роботу розробленого програмного забезпечення та підтверджують працездатність схеми датчика.

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розробка ізольованого адаптера інтерфейсу температурно - тактильного датчика

Для підключення розробленого до температурно - тактильного датчика до комп'ютера використовується послідовний інтерфейс RS-232 [28]. Тому, з метою зниження перешкод в лініях зв'язку, а також для підвищення безпеки і терміну служби розробленого пристрою, необхідно забезпечити гальванічну розв'язку комп'ютера і системи, що підключається.

Існує декілька способів реалізації гальванічної розв'язки інтерфейсу RS-232. Найчастіше використовується оптронна розв'язка, коли оптрони одночасно використовуються і для перетворення рівнів, і для отримання розв'язки. Але такий спосіб має й недоліки: швидкодія оптронів часто виявляється недостатньою, а однотактний вихід передавача не може працювати з протяжними лініями зв'язку. Найнадійнішим рішенням є застосування DC-DC перетворювача для живлення активної частини схеми адаптера, в якій застосовується мікросхема драйверів / ресіверів RS-232 [28]. Але цей варіант реалізації відрізняється високою вартістю і складністю.

Альтернативним засобом може бути використання мікросхем цифрових ізоляторів. Вони мають високі електричну міцність ізоляції і швидкісні характеристики при цілком задовільній вартості. Але порівняно з цифровим ізолятором, адаптер ізольованого інтерфейсу RS-232 повинен містити перетворювачі рівнів. При цьому драйвери повинні володіти високою швидкодією і забезпечувати достатній як впадаючий, так і витікаючий струм для роботи на протяжну лінію. При реалізації таких драйверів на дискретних елементах схема виходить громіздкою. Застосування поширених мікросхем драйверів / ресіверів при живленні від ліній RS-232 стримується великим споживаним ними струмом. Проте, якщо примусово відключити вбудовану систему підвищення напруги живлення, то споживання мікросхеми значно знижується. З

цією метою не проводиться підключення використовуваних системою зовнішніх конденсаторів.

Принципова схема адаптера ізольованого інтерфейсу RS-232 показана на рис. 3.1., а перелік елементів – у табл. 3.1.

Живлення мікросхема отримує через захисні резистори R1 і R2 від ліній RTS і DTR інтерфейсу RS-232. При цьому порт комп'ютера повинен бути налаштований так, щоб на виході RTS була присутня напруга +10...12 В, а на DTR - напруга –10...12 В. В розробленій системі це реалізовано на програмному рівні драйвера послідовного інтерфейсу датчика.

Таблиця 3.1 – Перелік елементів до схеми електричною принциповою адаптера ізольованого інтерфейсу RS-232 температурно-тактильного датчика

Поз. пізн.	Найменування	Кільк.
VD1	Стабілітрон КС156А	1
C1-C4	Конденсатори К50-1-0,1мкФ	1
R1, R2	Резистори МЛТ-0,125-100Ом±5%	2
R3	Резистор МЛТ-0,125-150Ом±5%	1
DD1	Мікросхема ADM232	1
DD2	Мікросхема ADuM1201	1

У якості перетворювачів рівнів використовується мікросхема DD1 типу ADM232 [36]. Виводи 1, 3, 4, 5 залишені вільними, завдяки чому внутрішній перетворювач відключений.

Для гальванічної розв'язки сигналів інтерфейсу використовується мікросхема DD2 - ADuM1201 [29]. Для живлення мікросхеми DD2 використовується параметричний стабілізатор R3-VD1. Пасивна частина мікросхеми DD2 живиться напругою +5 В (або +3.3 В) від апаратної частини розробленого температурно - тактильного датчика, для якого цей адаптер і призначено.

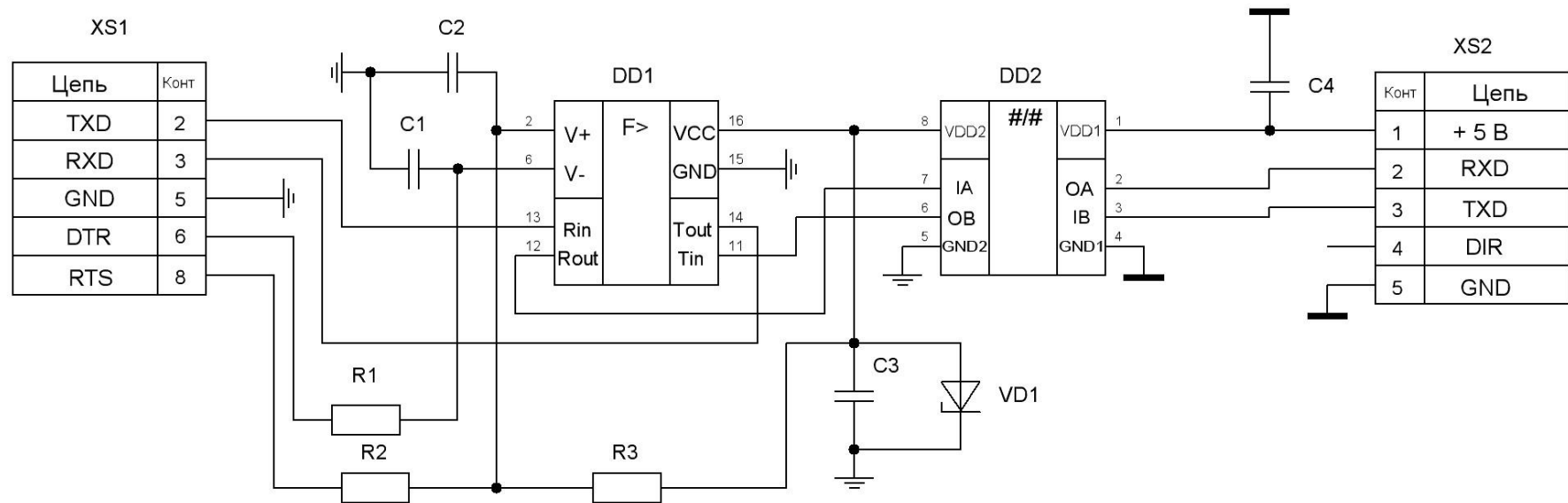


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова адаптера ізольованого інтерфейсу RS-232 температурно - тактильного датчика

3.2 Дослідження системи розпізнавання температурної і механорецепції

Якість функціонування розробленого температурно-тактильного датчика головним чином визначається величиною помилки розпізнавання температурної і механорецепції. Для дослідження цього використовувалися моделі програмної частини системи: лінійна регресійна модель, моделі нейромереж розмірністю 20x20, 50x50 і 100x100 нейронів. При цьому як інструментарій застосовувалося програмне середовище Deductor [34], що моделює роботу систем штучного інтелекту.

Результати дослідження моделі лінійної регресії показані на рис. 3.2.

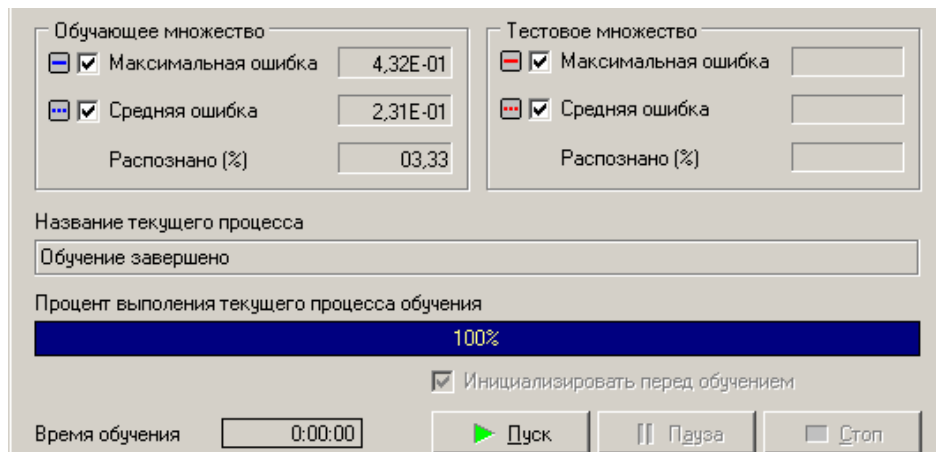


Рисунок 3.2 – Модель лінійної регресії

Побудована модель лінійної регресії не придатна для розпізнавання температурної і механорецепції по входних ознаках, оскільки відсоток розпізнавання склав всього 3.33% при максимальній помилці – 0,432.

Подальші дослідження проводилися на основі моделей, що використовують як базисний елемент карти – один з різновидів нейромережевих алгоритмів.

Алгоритм функціонування самонавчальних карт (Self Organizing Maps – SOM) [30] є одним з варіантів кластеризації багатовимірних векторів. SOM базується на використанні впорядкованої структури нейронів. Зазвичай вико-

ристовуються одне і двовимірні сітки. При цьому кожним нейроном є n -мерний вектор - стовпчик

$$\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T,$$

де n визначається розмірністю початкового простору (розмірністю вхідних векторів). Застосування одне і двовимірних сіток пов'язано з тим, що виникають проблеми при відображенні просторових структур більшої розмірності.

Зазвичай нейрони розташовуються у вузлах двовимірної сітки з прямокутними або шестикутними осередками. При цьому, нейрони також взаємодіють один з одним. Величина цієї взаємодії визначається відстанню між нейронами на карті.

Для оцінки нейросмережових алгоритмів розпізнавання проводилися дослідження декількох карт, з різною кількістю нейронів, результати яких наведені на рис. 3.3 – 3.5.



Рисунок 3.3 – Результати дослідження карти з 20x20 нейронів

Отримані результати свідчать про те, що при збільшенні кількості нейронів, кількість епох навчання зменшується і зменшується величина серед-

ньої помилки розпізнавання. Дані свідчать про те, що такий різновид нейромережових алгоритмів придатний для вирішення завдання розпізнавання температурної і механорецепції. Проте, недоліком таких карт є те, що вони більш підходять для завдань кластеризації і можуть вказати тільки на тип до-тику, не указуючи при цьому ступінь упевненості в його наявності.



Рисунок 3.4 – Результати дослідження карти з 50х50 нейронів



Рисунок 3.5 - Результати дослідження карти з 100х100 нейронів

Таким чином, можливо зробити висновок, що побудована система розпізнавання дотиків на основі нейронної мережі найбільш підходить для вирішення завдання температурної і механорецепції.

На основі поєднання піроелектричного перетворювача, була розроблена структура чутливого елемента температурно – тактильного датчика.

На основі розробленого чутливого елемента була запропонована структура матриці температурно-тактильних сенсорів розмірністю 640 x 480 елементів, що створює картину розподілу теплових і тактильних полів. Розмірність матриці дозволяє використовувати стандартні методи обробки зображень, прийняті в сучасній техніці.

Відмінною особливістю датчика є відсутність необхідності застосування механізму захоплення кадру або погоджуючого інтерфейсу. Це дозволяє використовувати розроблений датчик для виконання функцій ідентифікації або верифікації.

Для управління температурно – тактильним датчиком розроблена схема системи обробки, що забезпечує вибірку результатів вимірювань за допомогою завдання режимів горизонтальної і вертикальної синхронізації, запис результатів вимірювань в статичний запам'ятовуючий пристрій, управління процесом передачі зображень через послідовний порт RS-232 у комп'ютер для подальшого аналізу програмними методами.

У системі здійснюється послідовне сканування елементів матриці, причому напрям і порядок сканування можна змінювати на програмному рівні. З цією метою було розроблено програмне забезпечення мікроконтролера ATmega128 в середовищі Vascom, що дозволяє здійснити сканування полів за 112 мс і займає 145 кБ в постійній пам'яті контролера.

Для реалізації апаратної частини системи датчика була розроблена печатна плата, що дозволяє створити пристрій у завершеному конструктивно – технологічному варіанті з розмірами 119x104 мм і вагою 128 гр.

4 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розробка топології печатної плати температурно - тактильного датчика

Топологія печатної плати температурно - тактильного датчика розроблялася з урахуванням наступних вимог [25]: відповідність принциповій електричній схемі, задоволення всім конструктивним вимогам, що пред'являються; топологія складається так, щоб для виготовлення печатної плати потрібна найбільш проста і дешева технологія, забезпечувався заданий тепловий режим і можливість перевірки компонентів в процесі виготовлення; оцінюється вплив і індуктивних зв'язків, ємкостей, на роботу схеми. Основним завданням при розробці топології є мінімізація площі, мінімізація сумарної довжини розводки і числа перетинів в ній [25].

В цілях зменшення кількості технологічних операцій виготовлення печатної плати і усунення паразитної ємкості, в комутаційній схемі відсутні перетини провідників. Провідники розташовані рівномірно за всією площею плати. У схемі допускаються перетини провідників з резисторами, а також з балочними виведеннями мікросхем з ізоляцією шаром діелектрика. Така конструкційна особливість не робить вплив на працездатність схеми.

Оскільки досліджувана схема відноситься до розряду високочастотних, то монтажна ємкість печатних провідників (паразитна ємкість 1см провідника 0,1пФ) не робить істотного впливу на роботу схеми. Згідно вимогам до конструкції температурно - тактильного датчика, інтегральні схеми розташовані в центрі печатної плати. Топологія спроектована в прямокутній системі координат в масштабі 10:1. Для автоматизованої розводки використовувався САПР Accel EDA 15.0 [26].

Топологія печатної плати температурно - тактильного датчика зображена на рис.4.1.

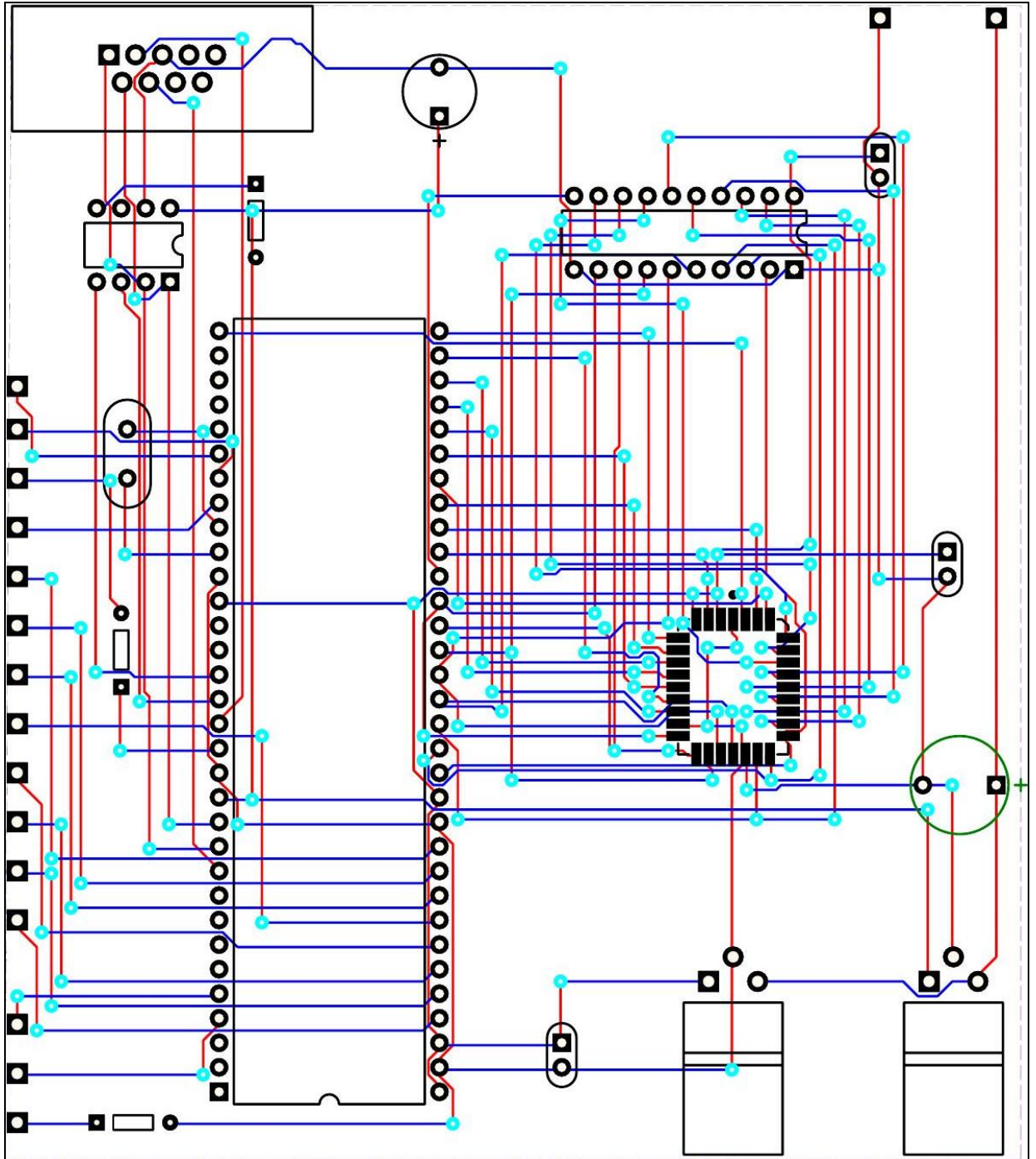


Рисунок 4.1 – Топологія печатної плати
температурно - тактильного датчика

Печатна плата містить два провідних шару, основний, розташований із сторони протилежної розміщенню корпусів елементів схеми (рис. 4.2) і додатковий, розташована на одній стороні з елементами схеми (рис. 4.3).

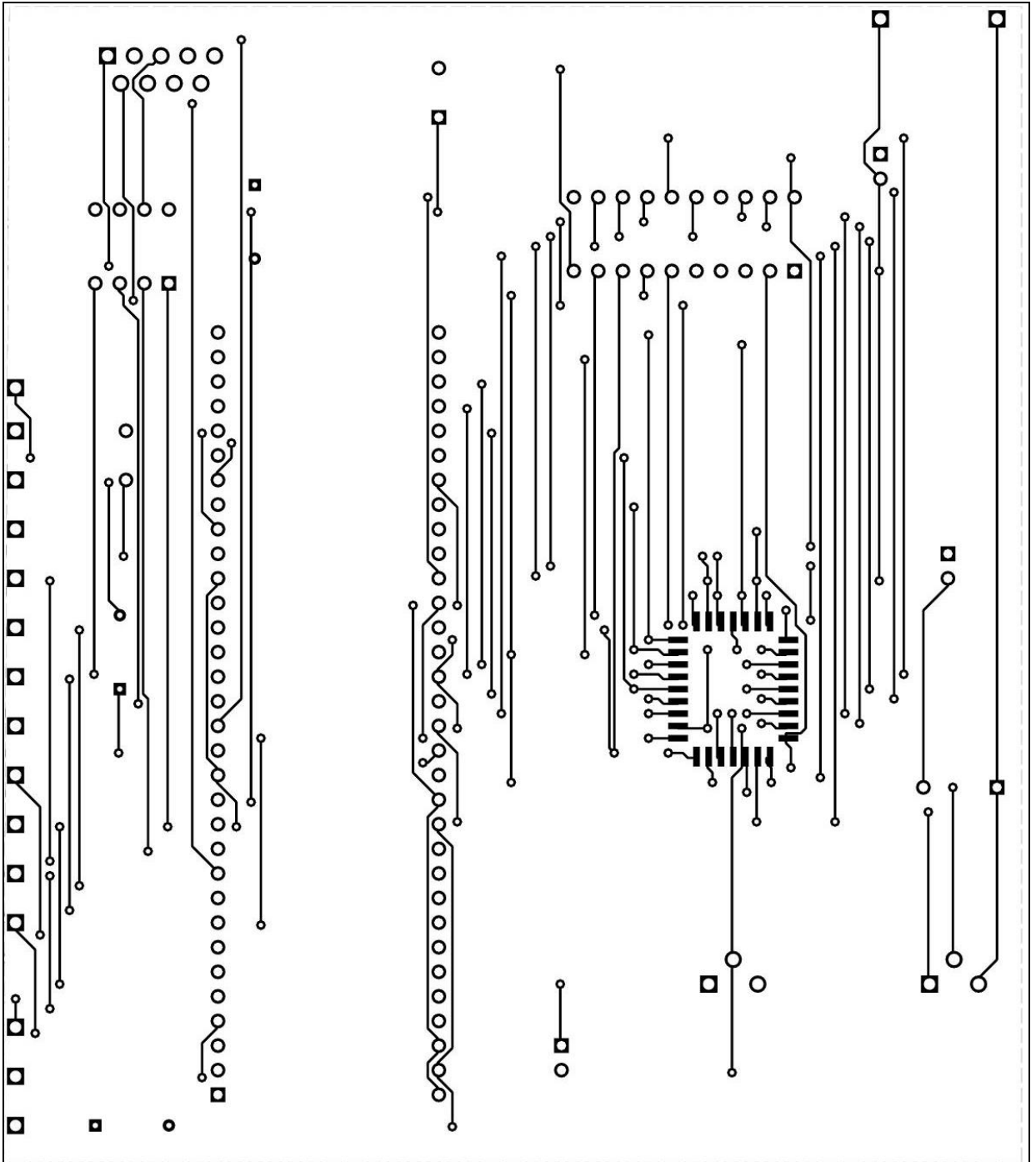


Рисунок 4.2 – Маска для створення основного шару печатної плати температурно - тактильного датчика

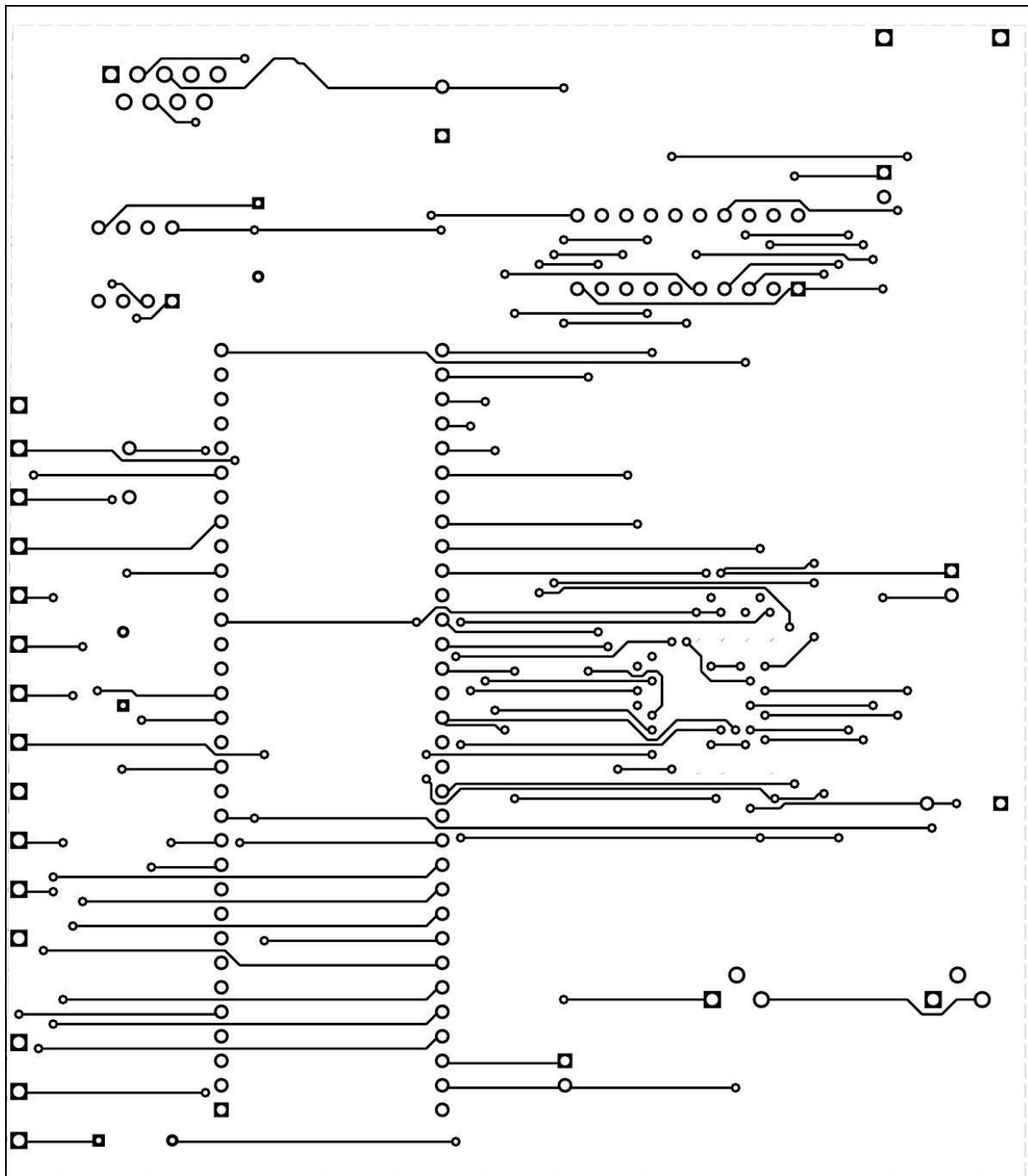


Рисунок 4.3 – Маска для створення додаткового шару печатної плати температурно - тактильного датчика

Також, з метою зменшення розмірів плати і кількості провідних шарів, у розробленій конструкції передбачено поєднання основного і додаткового шарів за допомогою перехідних отворів, розміщення яких наведено на рис. 4.4.

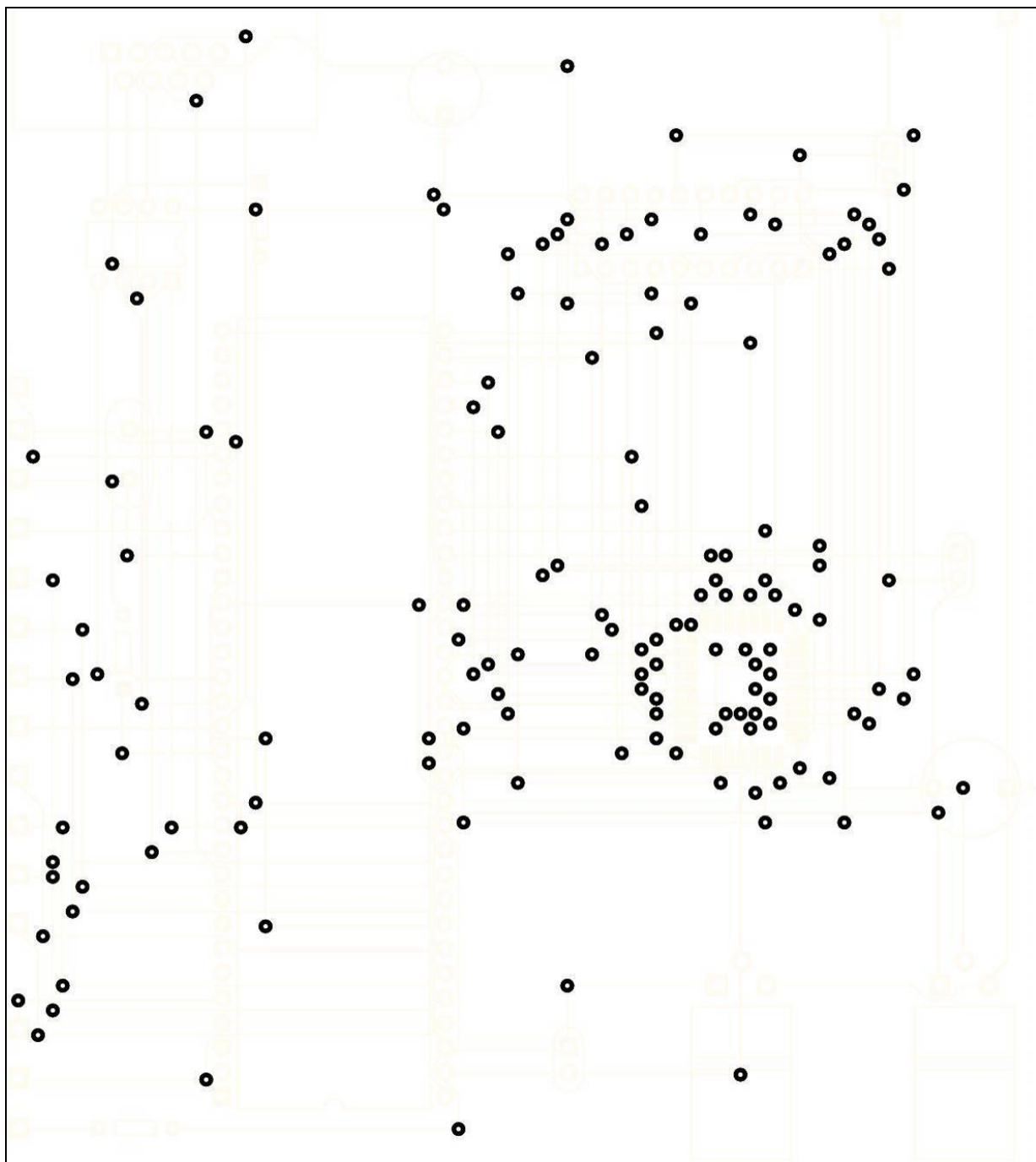


Рисунок 4.4 – Маска для створення перехідних отворів між шарами
печатної плати температурно - тактильного датчика

При розробці топології використані викладені нижче дані і міркування. Комутаційний шар печатної плати формується методом травлення. Для запобігання браку в процесі формування струмопровідного шару мінімальна ширина струмопровідних доріжок вибрана рівною 0,15мм; мінімальна ширина

зазору між доріжками 0,15мм. За щільністю печатної плати відноситься до 3 класу точності, що дозволяє використовувати трафарети для нанесення паяльної пасти з метою паяння компонентів в конвекційній печі.

Печатна плата 3 класу точності з мідним електрично осадженим покриттям товщиною 50 мкм розрахована на максимальну напругу 25В і максимальну силу струму 240 мА. Відстань від краю плати до струмопровідної доріжки – 0,15 мм. Таким чином, електричні параметри не накладають обмежень на структуру топології печатної плати.

У схемі температурно - тактильного датчика DD1, DD2, DD3 використовуються в корпусах DIP-64, DIP-8 і DIP-20 відповідно, DD4 – у корпусі PLCC-32, DA1-2 - в корпусах TO-3 [27]. Також були застосовані резистори МЛТ, конденсатори типу К50-5 і КМ-6. До послідовного порту печатна плата під'єднується за допомогою стандартного роз'єму DB9-F.

Розміри плати складають 119x104 мм, що показує її мініатюрність і зручність експлуатації. Вага температурно - тактильного датчика не перевищує 128 гр.

Провідний шар формується на підкладці фольгованого склотекстоліту марки СТФ-1-1 ТУ 16.503.161-77.

Очищення і знежирення підкладок перед нанесенням лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні.

Виготовлення печатних плат третього класу точності передбачає можливість нанесення лаку простим способом – нанесенням ракелем.

Після нанесення шару лаку слідує операція сушки, яка здійснюється в конвекційній печі при температурі 100 °С тривалістю п'ять хвилин.

Хімічне травлення незахищених ділянок мідної фольги проводиться у водному розчині хлорного заліза. Контроль тривалості травлення – візуальний. Орієнтовні параметри операції наступні: під час травлення плати в розчині температурою 50 °С – 6 хвилин, час промивання проточною водою – 2 хвилини.

Видалення лаку проводиться марлевым тампоном, змоченим в ацетоні. Потім плата промивається проточною водою і сушать при кімнатній температурі.

Нанесення паяльної пасти у області контактних вікон проводиться через латунний трафарет завтовшки 0,4 мм за допомогою ракеля. Рекомендується застосовувати паяльну пасту марки ПЛ-112 АУКО.029.009ТУ. В'язкість цієї пасти дозволяє кріпити виведення компонентів до контактних вікон підкладки способом короткочасного притиснення. Температура плавлення пасти – 200 °С.

Оплавлення припою проводиться в конвекційній печі SX-2000 згідно температурному режиму, опис якого міститься в паспорті на компоненти.

Для резисторів і конденсаторів рекомендований режим паяння в конвекційній печі наступний:

- швидкість нагріву і охолодження 2 – 5 °С/с.;
- витримка при температурі 150 °С – 60 °С;
- витримка при температурі 215 °С – 10 °С.

Після паяння в конвекційній печі проводиться електричне тестування схем, при виявленні несправних компонентів, вони замінюються ручним способом (за допомогою мікропаяльника).

4.2 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Розробка температурно-тактильного датчика виконувалось на персональних ЕОМ, що знаходяться у лабораторному приміщенні, де можливі такі фізичні небезпечні та шкідливі фактори: поганий мікроклімат приміщення: підвищена і знижена температура повітря; надмірна запиленість повітря; підвищена і знижена вологість повітря; недостатня освітленість робочого місця; шум; підвищений рівень іонізуючого випромінювання; підвищений рівень електромагнітних полів; підвищений рівень статичної електрики; небезпека

ураження електричним струмом; бляклість екрану дисплея; Біологічні та хімічні шкідливі і небезпечні виробничі фактори при роботі в лабораторному приміщенні відсутні. До психофізичних факторів належать: розумова перенапруга, нервозність, монотонність праці.

Об'єм приміщення, не повинен бути менше $19,5 \text{ м}^3/\text{людину}$ з урахуванням максимального числа одночасно працюючих.

Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані комп'ютери, приведені в табл. 4.1.

ЕОМ являє собою джерело електромагнітних і електростатичних полів, а також і рентгенівських випромінювань [37]. Електромагнітні поля, що характеризують напруженість електричних і магнітних полів шкідливо впливають на організм людини. Основним джерелом цих проблем, є дисплеї (монітори), особливо дисплеї з електронно-променевими трубками. Вони являють собою джерела найбільш шкідливих випромінювань, що несприятливо впливають на здоров'я людини. Електромагнітне поле має електричну і магнітну складову. Вважається, що магнітна складова викликає більш негативну реакцію, ніж електрична.

Таблиця 4.1 – Норми подачі свіжого повітря у лабораторному приміщенні, де розташовані ЕОМ

Характеристика приміщення	Об'ємна витрата подаваного в приміщення свіжого повітря, м^3 /на одну людину в годину
об'єм до 20 м^3 на людину	не менш 30
об'єм до 40 м^3 на людину	не менш 20
об'єм більш 40 м^3 на людину	природна вентиляція

ЕОМ є джерелами таких випромінювань як:

- м'якого рентгенівського; ультрафіолетового $200 - 400 \text{ нм}$;
- видимого $400 - 700 \text{ нм}$;
- ближнього інфрачервоного $700 - 850 \text{ нм}$;
- радіочастотного $3 \text{ кГц} - 30 \text{ МГц}$;
- електростатичних полів.

При експлуатації монітор комп'ютера випромінює м'яке рентгенівське випромінювання. Небезпека цього виду випромінювання пов'язана з його здатністю проникати в тіло людини на глибину 1–2 см і вражати поверхневий шкірний покрив.

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці біля комп'ютера зазвичай не перевищує 10 мкбер / год., а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрану монітора знаходиться в межах 10 ... 100 мВт/м².

Ультрафіолетове випромінювання у великих дозах призводить до дерматиту шкіри, головний біль, різі в очах.

Інфрачервоне випромінювання призводить до перегріву тканин людини (особливо кристалика ока), підвищення температури тіла.

Рівні напруженості електростатичних полів повинні складати не більше 20 кВ/м. Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати 500В.

Також може виникнути небезпека за рівнями напруженості електромагнітного поля. На відстані 5–10 см від екрана і корпусу монітора рівні напруженості можуть досягати 140 В/м за електричною складовою, що значно перевищує допустимі значення. Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора представлені в табл. 4.2 [38].

Таблиця 4.2 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Параметри	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітора	0.3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перебільшувати :	20 кВ/м
для дорослих користувачів	
для навчальних закладів	15 кВ/м

Персональні комп'ютери, друкуючі пристрої, обладнання для кондиціонування повітря, вентилятори систем охолодження і трансформатори в самих ПК є також джерелами шумів та вібрацій. У лабораторних приміщеннях освітніх установ, де розташовані ПК, рівні шуму та вібрації не повинні перевищувати допустимих значень, установлених діючими санітарно - епідеміологічними нормативами для житлових і громадських будівель.

Тривала дія шуму високої інтенсивності (вище 80 дБ) призводить до патологій слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Рівень шуму на робочому місці, при роботі за комп'ютером, не повинен перевищувати 50 дБ, а при наявності друкуючого пристрою не більш 75дБ.

Вібрація може викликати деякі професійні захворювання, при яких змінюються фізіологічні та психічні функції організму.

Т.ч., у лабораторному приміщенні при дослідницькій роботі на ЕОМ на людину впливають різні виробничі фактори, які в основному негативно впливають на її здоров'я і можуть викликати професійні захворювання [38].

4.3 Заходи зі зменшення впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Оскільки екран монітора – це також джерело світла, при постійному зчитуванні інформації з нього відбувається швидке стомлення очей, особливо якщо яскравість свічення монітора встановлена занадто високою. Також подразнення очей викликає мерехтіння зображення на моніторі, викликаного низькою частотою кадрової розгортки.

З метою зниження мерехтіння екрану рекомендується встановлювати частоту кадрів не менше 75 Гц для ЕЛТ - моніторів, та для ЖК - моніторів достатньою є мінімальна частота кадрів у 60 Гц.

Оскільки монітор ЕОМ є джерелом випромінювання електромагнітних та електростатичних полів, то при підвищеному рівні напруженості цих полів слід скоротити час роботи за комп'ютером, робити п'ятнадцятихвилинні перерви протягом півтора годин роботи, обов'язково застосовувати захисні екрани, не розміщувати їх концентровано в робочій зоні і вимикати їх, якщо на них не працюють.

Для безпечної роботи на ПК необхідно перебувати на відстані не менше 50 см від екрана дисплея. Для зниження впливу всіх видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання, встановлювати захисні екрани, а також дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку. Разом з цим, потрібно встановлювати у лабораторному приміщенні, де знаходиться комп'ютер, іонізатори повітря, частіше провітрювати приміщення і хоча б один раз протягом робочого дня очищати екран від пилу.

Для запобігання утворення та захисту від статичної електрики необхідно використовувати нейтралізатори та зволожувачі, а підлоги повинні мати антистатичне покриття. Допустимі рівні напруженості електростатичних полів не повинні перевищувати 20 кВ протягом 1 години.

Для зниження рівня шуму стіни і стеля приміщень, де встановлені комп'ютери, можуть бути фанеровані звукопоглинальними матеріалами, а також використовуються різні звукопоглинаючі пристрої. Зниження шуму в джерелі випромінювання можливо забезпечити застосуванням м'яких килимків з синтетичних матеріалів, а під ніжками столів, на яких вони встановлені, - прокладки з м'якої гуми завтовшки 6-8 мм. До засобів індивідуального захисту відносяться протишумні навушники.

Рівень вібрації у лабораторному приміщенні може бути знижений шляхом встановлення устаткування на спеціальні віброізолятори. Раціональне планування приміщення і організація робочого місця, правильне розміщення обладнання також є важливим фактором, що дозволяє знизити шум і вібрацію.

Т. ч., для безпечної роботи людини, лабораторне приміщення, де знаходяться ЕОМ, повинно відповідати діючим санітарно - епідеміологічним нормам [39].

4.4 Виробнича санітарія

Так як, робота з розробки датчика відбувається у лабораторному приміщенні, тому освітлення має наближатися до оптимальних умов зорового сонячного освітлення. Лабораторні приміщення, де розташовані комп'ютери повинні мати і природне і штучне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення застосовується не тільки в темний, але і в світлий час доби. Природне освітлення повинно здійснюватися через світлопроеми, орієнтовані переважно на північ і північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1.2% у зонах зі стійким сніжним покривом і 1.5% на решті території. Штучне освітлення у лабораторних приміщеннях експлуатації комп'ютерів повинно здійснюватися системою загального рівномірного освітлення. У якості джерела штучного освітлення звичайно використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ, або ДРЛ, які попарно об'єднуються в світильники, які повинні розташовуватися рівномірно над робочими поверхнями. Обмежити відображену бляклість на робочих поверхнях можна за рахунок правильного вибору типів світильників і розташування робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення, при цьому яскравість відблисків на екрані не повинна перевищувати 40 кд/кв.м. і яскравість потоку, при зміні системи відбитого освітлення, не повинна перевищувати 200 кд/кв.м.

Вимоги до освітленості у лабораторних приміщеннях, де встановлені комп'ютери, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності становлять 200 лк і 300 лк від-

повідно. При цьому монітор і джерела світла повинні бути розташовані т. ч., щоб не створювати бликів на поверхні екрана. Крім того, все поле зору повинне бути освітлено достатньо рівномірно - це основна гігієнічна вимога. Тому ступінь освітлення приміщення і яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими, оскільки яскраве світло в районі периферійного зору значно збільшує напруженість очей і, як наслідок, призводить до їх швидкої стомлюваності.

Одним із основних небезпечних та шкідливих факторів, які впливають на людину під час роботи у лабораторному приміщенні є мікроклімат. ЕОМ є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. На робочому місці користувача комп'ютеру повинні забезпечуватися оптимальні параметри мікроклімату відповідно до санітарно - епідеміологічних норм. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення.

Для створення і підтримки оптимального мікроклімату у лабораторному приміщенні, незалежно від зовнішніх умов у холодну пору року використовується водяне опалення, а в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря. Кондиціонер, за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримує в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

У приміщеннях з надлишком тепла необхідно передбачати регулювання подачі теплоносія для дотримання нормативних параметрів мікроклімату.

Так, оптимальна температура повітря у лабораторному приміщенні в теплу пору року повинна становити $+22^{\circ}\text{C}$... $+24^{\circ}\text{C}$, відносна вологість – 40...60%, атмосферний тиск - 750 мм.рт.ст., швидкість руху повітря – 0,1 м/с.

Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ наведено у табл. 4.3.

Повітря, що надходить у лабораторне приміщення, де розташовані ПК, повинно бути очищене від забруднень, в тому числі від пилу і мікроорганізмів. Патогенної мікрофлори бути не повинно. Кондиціонування повітря має забезпечувати підтримання параметрів мікроклімату в необхідних межах про-

тягом всіх сезонів року, очищення повітря від пилу і шкідливих речовин, створення необхідного надлишкового тиску в чистих приміщеннях для виключення надходження неочищеного повітря. Температура подаваного повітря повинна бути не нижче 19°C. Температуру в приміщенні слід регулювати з урахуванням теплових потоків від обладнання.

Таблиця 4.3 – Параметри мікроклімату для лабораторного приміщення з ЕОМ

Пора року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодна	температура повітря в приміщенні	22 – 24 °С
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	до 0,1 м/с
Тепла	температура повітря в приміщенні	23 – 25 °С
	відносна вологість	40 – 60 %
	швидкість руху повітря	0,1 – 0,2 м/с

Для лабораторного приміщення, де існує можливість природного провітрювання немає необхідності встановлювати приточно - витяжну вентиляцію, а доцільно використовувати кондиціонер спліт-системи, що працює на рециркуляційном повітрі.

Компресорно-конденсаторний блок такого кондиціонера встановлюється за межами приміщення на вулиці, а в приміщенні встановлюється внутрішній блок спліт-системи. Між собою внутрішній і зовнішній блоки зв'язані фреоновими трубопроводами в ізоляції.

Для вибору кондиціонеру по холодопродуктивності необхідно розрахувати теплонадлишки в приміщенні, площею $S = 25 \text{ м}^2$, висотою $h = 3\text{м}$, до яких входить тепло від людей, оргтехніки, освітлення та ін.

Так як в лабораторному приміщенні розташовані 3 комп'ютери і постійно працюють 3 людини теплонадходження можливо розрахувати:

$$Q_1 = S \cdot h \cdot q = 25 \cdot 3 \cdot 35 = 2625 \text{ Вт}; \quad (4.1)$$

$$Q_2 = 300 \cdot 3 = 900 \text{ Вт};$$

$$Q_3 = 100 \cdot 3 = 300 \text{ Вт};$$

$$Q_{\text{общ}} = 2625 + 900 + 300 = 3825 \text{ Вт}.$$

Отже, модель кондиціонера спліт-системи вибираємо з типового ряду за найближчим (з урахуванням запасу) значенням холодопродуктивності.

Для забезпечення цілорічної роботи кондиціонера оптимальним є використання обладнання фірми Bork, тому що кондиціонери цієї фірми ефективно працюють в режимі "теплого насоса" в холодну пору року. Ряд технічних рішень, реалізованих у конструкції кондиціонерів Bork, забезпечує роботу при низьких температурах зовнішнього повітря (до $t = -20^\circ\text{C}$).

У розглянутому лабораторному приміщенні немає фальш-стелі, тому немає можливості встановити спліт – систему прихованої установки. Тому було обрано модель Y701 настінного типу, так як по холодопродуктивності $N_x = 4 \text{ кВт}$ – це найближче значення до розрахованих теплонадлишків приміщення.

Внутрішній блок кондиціонера встановлюємо на висоті $h = 2.5\text{м}$, тобто вище робочої зони приміщення. Зовнішній блок встановлюється на вулиці, на стіні під вікном, для зручного монтажу та обслуговування кондиціонера. Між внутрішнім і зовнішнім блоками встановлюються фреонові трубопроводи та електричний з'єднувальний кабель.

При роботі кондиціонера в режимі охолодження у внутрішньому блоці утворюється конденсат, тому необхідно передбачити відведення конденсату (дренажу) від внутрішнього блоку. Для підключення кондиціонеру спліт-системи до однофазної електромережі (220В, 50Гц) необхідно встановити для нього у розподільному щиту персональний автоматичний вимикач та прокласти трижильний кабель до місця встановлення кондиціонеру.

Для моделі Y701, споживана потужність якої 1.8 кВт, встановлюється однофазний автоматичний вимикач на 10А. Величина струму відсічки повинна встановлювати не менш 7-ми значень номінальних струмів [38].

Перелік використовуваного обладнання для створення мікроклімату у лабораторному приміщенні наведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Перелік використовуваного обладнання лабораторного приміщення для монтажу кондиціонеру спліт-системи

№	Модель	Найменування обладнання	Кількість
1	Y701	Кондиціонери спліт - системи, Nхол=3.5 кВт, Nтеп=3.5 кВт (DELONGHI)	1
2	AP-24	з'єднувальні мідні трубки в ізоляції (1/4 «-1/2»)	6 м
3	D-1	Дренажний трубопровід (гофрований)	6 м
4	ACF-023	Монтажний пристрій для зовнішнього блоку	1
5	K-4	Міжблочний електричний кабель (5x1.5 мм ²)	7 м
6	K-3	Кабель електропідключення (3x1.5 мм ²)	10 м
7		Обігрівач дренажу	1
8		Автоматичний вимикач (однофазний на 10А)	1

Т. ч., для забезпечення вентиляцій у лабораторному приміщенні, площею $S = 25 \text{ м}^2$, висотою $h = 3\text{м}$, де знаходяться 3 комп'ютери та 3 постійно працюючих людей достатньо буде встановити кондиціонер спліт-системи та рекомендується застосовувати природне провітрювання у теплу пору року.

4.5 Електробезпека

На робочому місці користувача ЕОМ розміщені дисплей, клавіатура і системний блок. При включенні дисплея на електронно-променевої трубки створюється висока напруга в кілька кВ. Тому забороняється доторкатися до тильної сторони дисплея, витирати пил з комп'ютера при його включеному стані, працювати на комп'ютері у вологій одежі і вологими руками.

Перед початком роботи слід переконатися у відсутності висячих під столом проводів електроживлення, в цілісності вилки і дроту електроживлення, у відсутності видимих пошкоджень апаратури і робочих меблів, у відсутності пошкоджень.

Струми статичної електрики, які виникають в процесі роботи комп'ютера на корпусах монітора, системного блоку і клавіатури, можуть призводити до розрядів при дотику до цих елементів. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера. Для зниження величин струмів статичної електрики використовуються нейтралізатори, місцеве і загальне зволоження повітря, використання покриття підлог з антистатичним просоченням.

Так як, у лабораторному приміщенні для дослідницької роботи, окрім ЕОМ, розташована велика кількість електричного обладнання то його слід віднести до групи приміщень з підвищеною небезпекою [38].

Відповідно узгодженим нормативним і технічним документам, у кожного кабелю існують свої норми опору ізоляції. Низьковольтні силові кабелі менше 1000 (В) повинні володіти опором ізоляції не менше 0,5 (МОм), як уже було пораховано.

Для лабораторії безпечнішою є мережа з ізольованою нейтраллю, де $Z=1$ - активний опір ізоляції фаз лабораторії відносно землі, МОм.

Розрахуємо струм, що проходить крізь тіло людини в лабораторії.

$$I = \frac{220}{1000 + \frac{1000000}{3}} = 0,00066 \text{ А.}$$

Порівнюючи з пороговим не відпускаючим струмом, в лабораторії струм який проходить в мережі є безпечним для людини.

4.6 Пожежна безпека. Техногенна безпека

Пожежна безпека забезпечується системою запобігання пожежі і системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково має бути

«План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі виникнення вогнища загоряння і вказує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у лабораторному приміщенні з ЕОМ є: будівельні матеріали для акустичної і естетичної обробки приміщень, перегородки, двері, підлоги, перфокарти і перфострічки, ізоляція кабелів і ін.

Джерелами запалювання у лабораторному приміщенні можуть бути електричні схеми від ЕОМ, прилади, застосовувані для технічного обслуговування, пристрої електроживлення, кондиціонування повітря, де в результаті різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри і дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

У сучасних ЕОМ дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому можливо оплавлення ізоляції.

Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ служать системи вентиляції та кондиціонування повітря. При постійному дії ці системи являють собою додаткову пожежну небезпеку.

Для більшості лабораторних приміщень встановлена категорія пожежної небезпеки В [40].

Евакуація із лабораторного приміщення, у разі надзвичайної ситуації, проводиться способом, який передбачає організоване виведення людей із приміщення через усі можливі виходи пішим ходом по заздалегідь розроблених маршрутах. У лабораторному приміщенні має бути присутній план евакуації та закріплена відповідальна особа за пожежну безпеку.

5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1 Обґрунтування вибору мікроконтролерного управління температурно-тактильного датчика

Основою температурно-тактильного датчика є 8-розрядний RISC - мікроконтролер ATmega128 з низьким енергоспоживанням та високою швидкістю. ATmega128 має швидкодіючу SRAM - пам'ять і шину зовнішнього інтерфейсу для підключення до зовнішньої пам'яті або програмованої периферії будь-якої конфігурації, залежно від вимог конкретного застосування. Інтерфейс містить контролери для синхронної пам'яті DRAM, Flash - пам'ять і статичної пам'яті, а також спеціальні схеми для підключення SmartMedia, CompactFlash і NAND Flash.

Вдосконалений контролер переривань розширює можливості процесора в частині обробки переривань, забезпечуючи множинну векторизацію, завдання пріоритетів джерел переривання і зменшуючи час переходу до програми обробці переривання.

Периферійний контролер даних забезпечує прямі канали доступу до пам'яті для всіх послідовних зовнішніх пристроїв, що дозволяє здійснювати передачу даних між ними і вбудованою або зовнішньою пам'яттю без використання процесора.

Контролери паралельних ліній введення-виводу виконує мультиплексування лінії периферійних входів/виходів з лініями даних загального призначення, що підвищує гнучкість конфігурації пристрою.

Використання в схемі мікроконтролерного управління дозволяє розширити функції спростити реалізацію температурно-тактильного датчика і зменшити його ваго – габаритні розміри.

5.2 Обґрунтування вибору технології виготовлення печатної плати температурно-тактильного датчика

Розрізняють три методи виконання печатних плат: ручний, напівавтоматизований і автоматизований. Переважними є напівавтоматизований і автоматизований методи.

Для вибору технології виготовлення печатної плати температурно-тактильного датчика проаналізовано ієрархії чотирьох варіантів (табл.5.1), враховуючи шкалу відносної важливості (табл.5.2) [35].

Таблиця 5.1 - Можливі варіанти технологій виготовлення печатної плати температурно-тактильного датчика

Технологія		Стислий опис
A	ручний	розміщення навісних елементів на печатній платі та розробка провідного рисунка ручним методом
B	напівавтоматизований 1	розміщення навісних елементів на печатній платі за допомогою ЕОМ, а розробка провідного рисунка ручним методом
C	напівавтоматизований 2	розміщення навісних елементів на печатній платі ручним методом, а розробка провідного рисунка за допомогою ЕОМ
D	автоматизований	розміщення навісних елементів на печатній платі та розробка провідного рисунка за допомогою ЕОМ

Вибір робився за критеріями, наведеними в табл. 5.3.

Відносну вагу кожного критерію встановлювалась на основі матриці попарних порівнянь для обраних критеріїв (табл. 5.3),

У матриці прийняті наступні позначення [34]:

i – номер критерію;

при порівнянні 6-ох критеріїв (табл. 5.3) $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$;

X_i - локальний пріоритет, тобто відносна вага i -го критерію в глобальному критерії.

Таблиця 5.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Таблиця 5.3 – Попарне порівняння критеріїв

Критерій	1	2	3	4	5	6	$\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$	X_i
1. Точність	1	1/3	3	1/7	1/5	3	0,664	0,073
2. Складність	3	1	3	1/3	1/7	3	1,042	0,116
3. Швидкість	1/3	1/3	1	1/5	1/7	3	0,460	0,051
4. Площа	7	3	5	1	1/5	7	2,297	0,254
5. Сумісність	5	7	7	5	1	5	4,277	0,473
6. Вартість	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1	0,293	0,033
Σ							9,033	1,00

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}},$$

\sum - сума по стовпці $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$;

Порівняння виконувалось таким чином: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Спочатку розглядався критерій «площа»: відносно критерію «точність» він має значну перевагу (за табл. 5.3 оцінка – 7), тоді в 4-й строці, 1-му стовпчику вказується 7, а в 1-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/7;

відносно критерію «складність» він має помірну перевагу (за табл.5.3 оцінка – 3), тоді в 4-й строці, 2-му стовпчику вказується 3, а в 2-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/3;

відносно критерію «швидкість» він має сильну перевагу (за табл.5.3 оцінка – 5), тоді в 4-й строці, 3-му стовпчику вказується 5, а в 3-й строці, 4-му стовпчику вказується 1/5; і т. д. щодо порівняння цього критерію з іншими.

Так само порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнювалась табл. 5.4.

Далі в кожній строчці виконувалось перемноження усіх 6 значень і отримувался з цього добутку корінь 6-го ступеню – таким чином заповнюва-

вся стовпчик $\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}$; далі знаходилася сума по цьому стовпчику \sum , і знаходилося

$$X_i = \frac{\sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}{\sum_{i=1}^6 \sqrt[6]{\prod_{i=1}^6 \omega_i}}$$

для кожної строки і заповнювався стовпчик X_i .

Далі аналогічно були складані 6 матриць попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію (табл. 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9). Оскільки порівнювалися 4 технології за одним критерієм, то $i = 1, 2, 3, 4$;

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}{\sum_{i=1}^4 \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}}$$

$$\Sigma - \text{сума по стовпці } \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}.$$

Таблиця 5.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «точність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	1/5	3	3	1,16	0,19
B	5	1	7	7	3,96	0,65
C	1/3	1/7	1	1/2	0,39	0,07
D	1/3	1/7	2	1	0,56	0,09
Σ					6,07	1,00

Таблиця 5.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «складність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	5	1	1/3	1,14	0,21
B	1/5	1	1/5	1/7	0,48	0,09
C	1	5	1	1/3	1,56	0,29
D	3	7	3	1	2,20	0,41
Σ					5,37	1,00

Таблиця 5.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «швидкість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/5	1/7	0,61	0,09
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/3	1,85	0,29
D	7	9	3	1	3,71	0,58
Σ					6,41	1,00

Таблиця 5.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «площа»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	3	5	0,99	0,21
B	1/5	1	1/3	1/2	0,24	0,05
C	1/3	3	1	3	2,03	0,43
D	1/5	2	1/3	1	1,47	0,31
Σ					4,73	1,00

Таблиця 5.8 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «сумісність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X _i
A	1	5	1/3	1/5	0,76	0,13
B	1/5	1	1/7	1/9	0,24	0,04
C	5	7	1	1/2	2,41	0,41
D	3	9	2	1	2,47	0,42
Σ					5,88	1,00

Таблиця 5.9 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 \omega_i}$	X_i
A	1	3	5	6	3,08	0,56
B	1/3	1	3	4	1,41	0,26
C	1/5	1/3	1	2	0,60	0,11
D	1/6	1/4	1/2	1	0,38	0,07
Σ					5,47	1,00

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислювався як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт. В табл. 3.9 рядок «вага» - це стовпчик X_i таблиці 3, строчка «ручний» - це значення X_i таблиць 5.4 – 5.8 для технології А, строчка «напівавтоматизований 1» - для технології В і т. д. Глобальний пріоритет для кожної технології розраховувався таким чином:

для технології «ручний»: $0,073 \times 0,19 + 0,116 \times 0,21 + 0,051 \times 0,09 + 0,254 \times 0,21 + 0,473 \times 0,13 + 0,033 \times 0,56 = 0,176$;

для технології «напівавтоматизований 1»: $0,073 \times 0,65 + 0,116 \times 0,09 + 0,051 \times 0,04 + 0,254 \times 0,05 + 0,473 \times 0,04 + 0,033 \times 0,26 = 0,100$; і т.д.

Таблиця 5.10 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	№5	№6	Глобальний
Вага	0,073	0,116	0,051	0,254	0,473	0,033	
ручний	0,19	0,21	0,09	0,21	0,13	0,56	0,176
напівавтоматизований 1	0,65	0,09	0,04	0,05	0,04	0,26	0,100
напівавтоматизований 2	0,07	0,29	0,29	0,43	0,41	0,11	0,360
автоматизований	0,09	0,41	0,58	0,31	0,42	0,07	0,364

З порівняння глобальних пріоритетів різних технологій (табл. 3.10) видно, що найбільшим є пріоритет у варіанта реалізації топології печатних плат з використанням автоматизованого методу виконання.

За допомогою методу аналізу ієрархій проведено порівняння чотирьох типів технологій виконання печатних плат за наступними критеріями: 1) точність; 2) складність; 3) швидкість; 4) площа печатної плати; 5) сумісність; 6) вартість. Найбільший локальний пріоритет у критерію «сумісність» (див. табл. 3.3). За даними таблиці 5.10 локальний пріоритет за критерієм «вартість» є найвищим для технології виконання плат ручним методом. Проте найбільший глобальний пріоритет має автоматизований метод виконання за допомогою ЕОМ. Тому перевага віддається технології автоматизованого виконання, саме вона й буде використовуватися для реалізації печатної плати температурно-тактильного датчика.

5.3 Розрахунок витрат на виготовлення апаратної частини плати температурно-тактильного датчика

Витрати з виготовлення системи складаються з витрат на виготовлення апаратної частини і програмного забезпечення температурно-тактильного датчика. Розрахунок витрат на виготовлення апаратної частини температурно-тактильного датчика наведено у табл. 5.11.

Т.ч., вартість витрат покупних виробів для апаратної частини системи біометричної ідентифікації складає 491,25 грн без врахування вартості програмного забезпечення.

Однак, у дослідному виробництві отримані значення необхідно збільшити на 15 % [36]. Т.ч., остаточне значення вартості комплектуючих виробів приймаються 662 грн.

Таблиця 5.12 – Розрахунок вартості покупних виробів апаратної частини температурно-тактильного датчика

Матеріали	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Всього витрат, грн.
Мікросхема АТmega128	шт.	1	300,00	300,00
Мікросхема АТ45DB041В	шт.	1	24	24
Мікросхема КР1564ІР33 (74НС573АN)	шт.	1	17	17
Мікросхема ІDТ7005S15	шт.	1	90	90
Мікросхема LM7805	шт.	1	8,25	8,25
Мікросхема 78L033	шт.	1	3,50	3,50
Кварцовий резонатор 16 МГц	шт.	1	5	5
Конденсатор КМ-6	шт.	2	1,70	3,40
Конденсатор К50-5	шт.	2	4	8
Резистор МЛТ-0,125-±5%	шт.	3	0,5	1,5
Вмикач	шт.	1	13,00	13,00
Коннектор RS-232	шт.	1	10	10
Коннектор живлення	шт.	1	12	12
Корпус 80×50×40	шт.	1	80	80
Разом				575,65

Також витрати можуть бути знижені у процесі масового виробництва температурно-тактильного датчика.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного дослідження та процесу розробки сучасних температурно-тактильних датчиків показано, що переважним представляється схема обробки, яка володіла б наступними характеристиками:

1. Високим вхідним опором, з можливістю зміни в процесі функціонування піроелектричного сенсору для кращого узгодження вихідного опору сенсора з вхідним опором схеми обробки і забезпечення високого рівня чутливості по напрузі.

2. Високим коефіцієнтом посилення для отримання високого рівня вихідного сигналу піроелектричного сенсору.

3. Автоматичним регулюванням підсилення схеми обробки для зниження рівня спотворень вихідного сигналу піроелектричного сенсору.

4. Малою кількістю елементів схеми попередньої обробки з метою її інтеграції до структури піроелектричного сенсору.

5. Можливістю сполучення по рівню сигналів з цифровими вимірювальними системами.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Костенко В. Л. Комбинированные твердотельные структуры и микроэлектронные сенсоры : монографія. Запорожье : ЗГИА, 1997. 109 с.
2. Handbook of thin film devices. Vol. 5. Ferroelectric film devices. – Ed. by Taylor D.J. Academic Press : London, 2000. 227 p.
3. Бурштинський М. В. Давачі : навч. посібник / М. В. Бурштинський, М. В. Хай, Б. М. Харчишин. Львів : ТзОВ «Простір М», 2014. 202 с.
4. Tasaka S., Miyata S. Effects of crystal structure on piezoelectric and ferroelectric properties of copoly – (vinylidene fluoride – tetrafluoroethylene). *J. Appl. Phys.* 1985. vol.57, №3. P. 906 – 910.
5. Вашпанов Ю. О. Сучасні сенсори автоматичних систем : навч. посібник. Одеса : ВМВ, 2014. 240 с.
6. Фершал М. В. Аналітичні сенсорні системи : навч. посіб. Ужгород : Говерла, 2022. 220 с.
7. Шарапов В. М. , Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезокерамические преобразователи электрических величин. Черкассы : ЧГТУ, 2005. 631 с.
8. Архелюк О. Д. Перетворювачі та пристрої вимірювальної техніки : конспект лекцій. Чернівці : ЧНУ імені Юрія Федьковича, 2021. 51 с.
9. Поліщук Є. С., Ванько В. М. Вимірювальні перетворювачі (сенсори). Львів : Львівська політехніка, 2015. 584 с.
10. Вбудовані біомедичні системи та бездротові сенсорні мережі : навч. посібник / А. В. Пархоменко, А. В. Туленков, О. М. Гладкова, Я. І. Залюбовський. Житомир : ПП «Євро-Волинь», 2021. 200 с.
11. Soy H., Toy İ. Design and implementation of smart pressure sensor for automotive applications. *Measurement*. 2021, № 176. P. 109184.
12. Киселев Е. Н., Костенко В. Л. Моделирование характеристик комбинированной транзисторной структуры. *Сборник научных трудов «Металлургия»*. Запорожье : ЗГИА, 1997. С.352–357.
13. Odon A. Voltage response of pyroelectric PVDF detector to pulse source of optical radiation. *Measurement Sci. Rew.* v. 5, sec. 3, 2005. P. 321-328.

14. Костенко В. Л., Швец Е. Я., Киселев Е. Н., Омельчук Н. А. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур : научное издание. Запорожье : ЗГИА, 2001. 101 с.
15. Особенности построения корпоративных сетей интеллектуальных датчиков параметров технологических процессов / Швец Е. Я., Максименюк А. В., Киселев Е. Н. *Металлургия* / отв. ред. Колесник Н. Ф., Колобов Г. А. Запорожье : ЗГИА, 2003. С. 146 - 148.
16. Bauer S., Ploss B. A simple technique to interface pyroelectric material with silicon substrates for infrared detection. *Ferroelectrics Letts.* 1989, v.9. P. 155-160.
17. Suneet Tuli. Pyroelectric Devices.- Wiley Encyclopedia of Electrical & Electronics Engineering. John Wiley & Sons, 2000. 236 p.
18. Odon A. Processing of signal of pyroelectric sensor in laser energy meter / *Measurement science review.* 2001, v. 1, №1. P. 215-218.
19. Chang DT., Chen D. M., Kaiser W. J., Stafsudd O. M. CMOS integrated infrared sensor // *Proc. International Conf. On Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '97).* vol. 2, 1997. P. 1259 – 1262.
20. Zhang W., Yao X., Wu X. Novel preparation scheme of monolithic pyroelectric thin film infrared sensor. *Int. J. of Computational Engineering Science.* 2003, v. 4, №. 3. P. 631-636.
21. Harsanyi G. Polymer films in sensor applications. *SensorReviewe.* 2000, vol. 20, №2. P. 98 – 105.
22. Пархоменко А. В., Притула А. В., Крищук В. М. Автоматизоване проектування електронних засобів в середовищах Creo та ALTIUM DESIGNER : навч. посіб. Запоріжжя: Дике Поле. 2016. 250 с.
23. AVR ATmega 328. URL : <https://robolive.ru/mikrokontroller-atmega328-opisanie-xarakteristiki/#:~:text=%D0%9C%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%80%20ATMega328%20%D1%8F%D0%B2%D0%BB%D1%8F%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%208-%D0%BC%D0%B8,%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%B8%D0%BD%D1%81>

%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B4%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BD%20%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82. (дата звернення: 02.12.2023).

24. Електроніка : Proteus Design Suite Version 8. URL : <http://www.labcenter.com/index.cfm>. (дата звернення: 02.12.2023).

25. Технологія нанесення неметалевих покриттів та виробництво плат друкованого монтажу : підручник / Л. А. Яцюк, О. В. Косогін, Д. Ю. Ущиповський, О. В. Лінючева, Ю. Ф. Фатєєв. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 330 с.

26. 7 потужних програм для проектування друкованих плат для проектування електроніки. URL : <https://techukraine.net/7-%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%83%D0%B6%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%B4%D1%80/>. (дата звернення: 02.12.2023).

27. Крилик Л. В. Монтаж радіоелектронних приладів. Спеціальна технологія : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ. 2017. 75 с..

28. Верьовкін Л. Л., Світанько М. В., Кісельов Є. М., Хрипко С. Л. Цифрова схемотехніка : навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 214 с.

29. Василенко О.В. Комп'ютерне моделювання : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка». 2020. 175 с.

30. Djamel Bouchaffra, Venu Govindaraju, Sargur N. Srihari. Postprocessing of Recognized Strings Using Nonstationary Markovian Models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1997, vol. 21, №. 10, P. 990-999.

31. Peter F. Brown and Vincent J. Della Pietra and Peter V. deSouza and Jennifer C. Lai and Robert L. Mercer. Class-Based n-gram Models of Natural Language. *Computational Linguistics*. 1992, vol. 18, №. 4. P. 467-479.

32. Anil K. Jain and Robert P. W. Duin and Jianchang Mao. Statistical Pattern Recognition: A Review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2002, vol. 22, №. 1. P. 4-37.
33. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс [Текст] / С. Хайкин. - 2-е изд., пер. и доп. – М. : Вильямс, 2008. – 1103 с.
34. Заенцев, И.В. Нейронные сети: основные модели [Текст] / И.В. Заенцев. – Воронеж : ВГУ, 1999. – 74 с.
35. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: От данных к знаниям [Текст] / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков.— СПб.: Питер, 2009. — 624 с.
36. Швець Є. Я., Головка О. П. Техніко-економічне обґрунтування проектно-конструкторських робіт : методичні вказівки до самостійної роботи та виконання дипломних і контрольних робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 17 с.
37. Гиль, О. О. Економіка та організація діяльності об'єднань підприємств : навч. посіб. Львів : Новий світ-2000. 2018. 246 с.
38. Кошель В. І., Сав'юк Г. П., Дзундза Б. С. Основи охорони праці : навч.-метод. посіб. Івано-Франківськ : НАІР. 2020. 182 с.
39. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підручник / за заг. ред. В. В. Сокурєнка. Харків : ХНУВС. 2021. 308 с.
40. Абракітов В. Е. Охорона праці в галузі та цивільний захист : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2020. 105 с.
41. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні / ЛЕОНОРМ. URL: http://leonorm.com.ua/portal/P/NL_DOC/UA/200401/Nakaz_126.htm. (дата звернення: 02.12.2023).
42. Гриченко П. В., Кісельов Є. М. Розробка системи механо- і терморєцепції. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2023» : у 5 т. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. Т. 5 С. 56-57.

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Д1	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Еквівалентна схема			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Д2	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Конструкція сенсорів			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Е1	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Структура схема системи обробки сигналів матриці сенсорів			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Е3	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Схема електрична принципова			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Д3	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Результати моделювання			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.01	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Плата друкована			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Д4	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Охорона праці			
		A1			ЕІСПЗ М.22202.00.00.00.00.Д5	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
						Економічні показники			
					ЕІСПЗ М.22201.00.00.00.00				
Изм. №		Изм. лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Гриченко			07.12				
Проб.		Кісельов			07.12.23	Дослідження перетворення сигналів у системі механо- і терморелеції			
Н.контр.		Туришев			08.02.23				
Утв.		Кривенька							
Лит.		Лист	Листов						
			1						
		ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ							
		8.1712							

Програмний код керування мікроконтролером Atmega128 температурно-тактильного датчика

```
'
                                AVR
'
  ---      ---
'      1 /RS      B4
'      2 /Reset   B3
'      3 /CS      B2
'      4 /CLK     B7
'      5 /DAT     B5
'      6 /Vcc     3 V (max.3.3 V, min.2.4 V)
'      7 /GND     GND
'      8 /Vdigital 3 Volt
'-----
'
'      Bascom-AVR 1.11.8./...
'-----
$regfile = "m128def.dat"
$crystal = 16000000
'$baud = 115200
'$xramsize = 65535
$hwstack = 128
$swstack = 128
$framesize = 128
'$xramsize = 65535
'$xramstart = &H1100
Set Mcucr.7
Wait 2
Ddrb = &B11111111
Disable Interrupts
Config Timer1 = Counter , Prescale = 1 , Compare A = Toggle
Set Tccr1b.wgm12
Set Tccr1b.wgm13
Menu_knop Alias Pine.2 : Reset Ddre.2
Sel Alias Pine.3 : Reset Ddre.3
Rs Alias Portb.0
Rst Alias Portb.4
Cs Alias Portb.6
Clk Alias Portb.1
Dat Alias Portb.2
Select_memory Alias Portb.7
Reset_memory Alias Portg.3 : Set Ddrg.3
Set Select_memory

Set Porte.2
Set Porte.3
```

Config Portd = Input
 Config Portf = Input

On Int0 Data_reqest Nosave
 On Int1 Hsyncro Nosave
 On Int2 Kadr Nosave
 Config Int0 = Falling
 Config Int1 = Rising
 Config Int2 = Rising

Const Buff1_write = &H84
 Const Buff2_write = &H87
 Const Buff1_mem_write = &H83
 Const Buff2_mem_write = &H86
 Const Current_page_read = &HD2
 Const Current_page_write = &H82

'Константи

Const White = &HFFFF
 Const Black = &H0000
 Const Red = &HF800
 Const Green = &H7C0
 Const Blue = &H1F
 Const Whiblu = &H7FF
 Set Ddrd.7
 Set Portd.7
 Set Ddrd.6

Dim Buf(264) As Byte
 Dim Page_mem As Word
 Dim A As Word , Aew As Word , Temp5 As Word
 Dim Temp As Byte , Select_cadr As Bit
 Dim Ae As Byte , Status(14) As Byte
 Dim B As Byte , Dig As Word
 Dim D As Byte , X As Byte , Color As Word , Fon As Word
 Dim E As Byte , Buf_zikl As Word
 Dim G As Word , Word_temp As Word
 Dim F As Byte , Number_cadr As Word
 Dim Symbol As String * 1

Dim C As Bit

Dim N As Byte , Temp1 As Word
 Dim Sd As Bit
 'Dim X As Byte
 Dim X_end As Byte
 Dim Y As Byte , End_cadr As Byte
 Dim Y_end As Byte , U As Byte
 'Dim Video_buf(31360) As Xram Byte At &H3000
 'Dim Video_s(216) As Xram Byte At &H2000

```

Declare Sub Clear_screen(byval Clear_color As Word)
Declare Sub Wordout()
Declare Sub Byteout()
Declare Sub S65_init()
Declare Sub Window_locate(byval X_start As Byte , Byval Y_start As Byte , Byval X_end As
Byte , Byval Y_end As Byte)
Declare Sub Cspulse()
Declare Sub Command_send(byval Nn As Byte)
Declare Sub Data_send(byval Aa As Word)
Declare Sub String_print(byval X As Byte , Byval Y As Byte , Byval Lcd_text As String , Byval
Color As Word , Byval Fon As Word)
Declare Sub Sym_locate(byval X As Byte , Byval Y As Byte)
Declare Sub Lcd_digit_print(byval X As Byte , Byval Y As Byte , Digit As Word)
Declare Sub Bytein()
Declare Sub Page_read(byval Page_mem As Word)
Declare Sub Page_write(byval Page_mem As Word)
Declare Sub Buffer1_to_flash(byval Page_mem As Word)
Declare Sub Buffer1_write
'Reset Ddrd.1
'Reset Portd.1
Config Spi = Hard , Interrupt = On , Data Order = Msb , Master = Yes , Polarity = High , Phase
= 1 , Clockrate = 4 , Noss = 1
Spiinit
Reset SPCR.SPR1 : Reset SPCR.SPR0 : Set SPCR.SPI2X
Call S65_init

Call Clear_screen(black)
Set CS

C = 1
Temp1 = 1
U = 140

$asm
.def Temp = R16
.def Out1 = R18
.def Out2 = R19
clr r0
ldi yh,$20
ldi yl,$00
ldi r17,255
$end Asm

While PIND.2 = 1
Wend
sei
sbi EIMSK,2
Do
If End_cadr = 0 Then

```

```

cli
Decr U
If U = 0 Then Gosub Show_kadr

If Menu_knop = 0 Then Gosub Menu
If Sel = 0 Then Set Select_cadr
End_cadr = 1
sei
End If
Loop

Show_kadr:
Disable Interrupts
Disable Int0
Disable Int1

Set Cs
Call Window_locate(1 , 1 , 128 , 140)

$asm
ldi yh,$20
ldi yl,$00
$end Asm

For N = 1 To 140
$asm
ldi r24,128
Dr:
ld r23,y+

cpi r23,200
brlo wt
ldi r23,200
Wt:
mov temp,r23
!Swap Temp
lsr temp
andi temp,$7
mov out1,r23
andi out1,$f9
add out1,temp
'-----
!out spdr,out1
Waih:
sbis spsr, spif
rjmp waih
mov out2,r23
lsr out2
lsr out2

```

```

    lsr out2
    lsr r23
    !swap r23

    andi r23,$e0
    andi out2,$1f
    add out2,temp
    !out spdr,out2
Wapih:
    sbis spsr, spif
    rjmp wapih

    ld r23,y+
    dec r24
    brne DR
    $end Asm
    Next N
    Set Cs
    $asm
    ldi r17,255
    ldi yh,$20
    ldi yl,$00
    $end Asm
U = 140
If Select_cadr = 1 Then
Reset Select_cadr
Number_cadr = 1
Gosub Im_lcd
End If
While Pind.2 = 1
Wend
Return

Menu:
While Sel = 0
Wend
Waitms 10
Call String_print(1 , 141 , "Return" , Blue , Green)
Call String_print(16 , 157 , "Save to memory" , Blue , Black)
While Menu_knop = 0
Wend
Waitms 10
Loop_menu:
If Menu_knop = 0 Then Goto Vozvrat
If Sel = 0 Then Goto Mem_save
Goto Loop_menu
Vozvrat:

```



```

Call Clear_screen(black)
Return
Mem_save:
While Sel = 0
Wend
Waitms 10
Call String_print(1 , 141 , "Return" , Blue , Black)
Call String_print(16 , 157 , "Save to memory" , Blue , Green)
While Menu_knop = 0
Wend
Waitms 10
Loop_menu_2:
If Menu_knop = 0 Then Goto Memory_save
If Sel = 0 Then Goto Menu
Goto Loop_menu_2

Memory_save:
N = 1
Color = Green
Call Clear_screen(black)
Number_cadr = 1
For Y = 159 To 56 Step -17
Call String_print(2 , Y , "Cadr" , Blue , Black)
Call Lcd_digit_print(40 , Y , Number_cadr)
Incr Number_cadr
Next Y

For Y = 159 To 56 Step -17
Call String_print(76 , Y , "Cadr" , Blue , Black)
Call Lcd_digit_print(116 , Y , Number_cadr)
Incr Number_cadr
Next Y
Number_cadr = 1
Gosub Light_str
Op:
If Sel = 0 Then
If Number_cadr = 14 Then
Number_cadr = 1
Call String_print(76 , 57 , "Cadr" , Blue , Black)
Else
Incr Number_cadr
End If
Gosub Light_str
While Sel = 0 : Wend
Waitms 10
End If
If Menu_knop = 0 Then
Gosub Buf_to_flash
Goto Vozvrat

```

End If
Goto Op

Light_str:
Select Case Number_cadr
Case 1 : Y = 159
Case 2 : Y = 142
Case 3 : Y = 125
Case 4 : Y = 108
Case 5 : Y = 91
Case 6 : Y = 74
Case 7 : Y = 57
Case 8 : Y = 159
Case 9 : Y = 142
Case 10 : Y = 125
Case 11 : Y = 108
Case 12 : Y = 91
Case 13 : Y = 74
Case 14 : Y = 57
End Select

If Number_cadr < 8 Then
Call String_print(2 , Y , "Cadr" , Blue , Green)
Else
Call String_print(2 , 57 , "Cadr" , Blue , Black)
Call String_print(76 , Y , "Cadr" , Blue , Green)
End If
If Y = 159 Then
Goto Svalil
Else
Y = Y + 17
If Number_cadr < 8 Then
Call String_print(2 , Y , "Cadr" , Blue , Black)
Else
Call String_print(76 , Y , "Cadr" , Blue , Black)
End If
Svalil:
Return
End If

End

Sub Cspulse 'короткий імпульс CS
Set Cs
nop
Reset Cs
End Sub
Sub Command_send(byval Nn As Byte) 'передача команди
N = &H74

```

Call Byteout()
N = 0
Call Byteout()
N = Nn
Call Byteout()
Call Cspulse
End Sub
Sub Data_send(byval Aa As Word)
N = &H76
Call Byteout()
A = Aa
Call Wordout()
Call Cspulse
End Sub
Sub Wordout
    lds r23, {a+1}
    !out spdr, r23
    lds r23, {a}

Wait_trh:
    sbis spsr, spif
    rjmp wait_trh
    !out spdr, r23
Wait_trl:
    sbis spsr, spif
    rjmp wait_trl
End Sub

Sub Byteout
    lds r23, {n}
    !out spdr, r23
Waitresult:
    sbis spsr, spif
    rjmp waitresult
End Sub
Sub Lcd_digit_print(byval X As Byte , Byval Y As Byte , Digit As Word)
Dim Xs As Byte , Temp3 As Word
Xs = X
Dim Digit$ As String * 1
Temp3 = Digit

While Temp3 > 0

    Dig = Temp3 Mod 10
Select Case Dig
Case 0 : Digit$ = "0"
Case 1 : Digit$ = "1"
Case 2 : Digit$ = "2"

```

```
Case 3 : Digit$ = "3"
Case 4 : Digit$ = "4"
Case 5 : Digit$ = "5"
Case 6 : Digit$ = "6"
Case 7 : Digit$ = "7"
Case 8 : Digit$ = "8"
Case 9 : Digit$ = "9"
End Select
Call String_print(xs , Y , Digit$ , Color , Fon )
Xs = Xs + 8
Temp3 = Temp3 / 10
Wend

End Sub

Sub S65_init
Reset Rst
Set Cs
Set Rs
Waitms 1
Set Rst
Waitms 10
Reset Cs
Restore Ini_code
For Temp = 0 To 33
Read N
Call Command_send(n)
Read A
Call Data_send(a)
Next Temp
Waitms 300
Set Cs
End Sub
Sub Sym_locate(byval X As Byte , Byval Y As Byte)

X_end = X + 7
Y_end = Y + 13

Call Window_locate(x , Y , X_end , Y_end)

End Sub
Sub Clear_screen(clear_color As Word)
Dim Temp2 As Word
Reset Cs

Call Command_send(&H16)
Call Data_send(&H8400)
Call Command_send(&H17)
```

Продовження Додатку Б

```
Call Data_send(&Haf00)
Call Command_send(&H21)
Call Data_send(&H0)
Call Command_send(&H22)
N = &H76
Call Byteout()
A = Clear_color
```

```
For Temp2 = 1 To 46464
Call Wordout()
Next Temp2
End Sub
```

```
Sub Window_locate(x As Byte , Y As Byte , X_pixel As Byte , Y_pixel As Byte)
Reset Cs
```

```
Call Command_send(&H16)
N = &H76
Call Byteout()
N = X_end
Call Byteout()
N = X_start
Call Byteout()
Call Cspulse
```

```
Call Command_send(&H17)
N = &H76
Call Byteout()
N = Y_end
Call Byteout()
N = Y_start
Call Byteout()
Call Cspulse
```

```
Call Command_send(&H21)
N = &H76
Call Byteout()
N = Y_start
Call Byteout()
N = X_start
Call Byteout()
Call Cspulse
```

```
Call Command_send(&H22)
N = &H76
Call Byteout()
End Sub
```

```

Sub Page_read(byval Page_mem As Word)
Reset Select_memory
N = Current_page_read
Call Byteout()

Shift Page_mem , Left , 1

A = Page_mem
Call Wordout()
N = 0
Call Byteout()

Call Byteout()
Call Byteout()
Call Byteout()
Call Byteout()
For Temp1 = 1 To 264
Call Bytein()
Buf(temp1) = N
Next Temp1
Set Select_memory
End Sub

Sub Bytein()
    ldi r23,0
    !Out Spdr , R23
Wairh:
    sbis spsr, spif
    rjmp wairh
    in r23,spdr
    sts {n},r23
End Sub

Sub Buffer1_to_flash(byval Page_mem As Word)
Reset Select_memory
N = Buff1_mem_write
Call Byteout()
Shift Page_mem , Left , 1

A = Page_mem
Call Wordout()
N = 0
Call Byteout()
Set Select_memory
Waitms 30
End Sub

Sub Buffer1_write
Reset Select_memory
N = Buff1_write

```

продовження Додатку Б

```

Call Byteout()
N = &H00
Call Byteout()
N = &H00
Call Byteout()
N = &H00

```

```

Call Byteout()
End Sub

```

```

Sub Page_write(page_mem As Word)
Reset Select_memory
N = Current_page_write
Call Byteout()
Shift Page_mem , Left , 1
A = Page_mem
Call Wordout()
N = 0
Call Byteout()

```

```

End Sub

```

```

Ini_code:

```

```

Data &H07 , &H0000% , &H02 , &H0400% , &H04 , &H0000% , &H0C , &H0001% , &H0D ,
&H0616% , &H0E , &H1010%
Data &H03 , &H000C% , &H0E , &H2D1F% , &H0D , &H0616% , &H01 , &H0215% , &H0F
, &H0000% , &H0B , &H0000%
Data &H11 , &H0000% , &H06 , &H0000% , &H05 , &H0030% , &H14 , &HAF00% , &H15 ,
&H0000% , &H16 , &H8300%
Data &H17 , &HAF00% , &H20 , &H0000% , &H30 , &H0000% , &H31 , &H0400%
Data &H32 , &H0207% , &H33 , &H0700% , &H34 , &H0005% , &H35 , &H0703% , &H36 ,
&H0707% , &H37 , &H0007%
Data &H3A , &H1200% , &H3B , &H0009% , &H07 , &H0005% , &H07 , &H0025% , &H07 ,
&H0027% , &H07 , &H0037%

```

```

Sub String_print(byval X As Byte , Byval Y As Byte , Byval Lcd_text As String * 22 , Byval
Color As Word , Byval Fon As Word)

```

```

Dim String_length As Byte
Call Sym_locate(x , Y)
For String_length = Len(lcd_text) To 1 Step -1

Symbol = Mid(lcd_text , String_length , 1)

```

```

G = Asc(symbol)
G = G - 32
G = G * 14
G = G + 14
Readeeprom B , G
For F = 1 To 14
D = B

```

продовження Додатку Б

```

For E = 1 To 8
  Ae = D And 1

If Ae = 1 Then
  A = Color
  Call Wordout()
Else
  A = Fon
  Call Wordout()
End If
Shift D , Right , 1
Next E
G = G - 1
Readeeprom B , G
Next F
Set Cs
X = X + 8
Call Sym_locate(x , Y)
Next String_length
Set Cs
End Sub

```

Data_request:

```

$asm
in r23,pinf
st y+,r23
dec r17
breq ALL
'nop
'nop
'nop
'nop

```

reti

All:

```

'Reset Portd.6
cbi eimsk,0
sts {end_cadr},r0
Reti
$end Asm
Hsyncro:
'sbi portd,6
Enable Int0
Return

```

Kadr:

```

While Pind.1 = 1

```


продовження Додатку Б

```

Wend
Enable Int1
Return

Buf_to_flash:
Gosub Select_page
$asm
ldi yh,$20
ldi yl,$00
$end Asm

Set Reset_memory
Buf_zikl = Page_mem + 140
For Word_temp = Page_mem To Buf_zikl
Call Buffer1_write

For Temp1 = 1 To 128
$asm
ld r23,y+
sts {n},r23
$end Asm
Call Byteout()
$asm
ld r23,y+
sts {n},r23
$end Asm
Call Byteout()
Next Temp1

Set Select_memory

Call Buffer1_to_flash(word_temp)

Reset Reset_memory
$asm
ldi yh,$20
ldi yl,$00
$end Asm
Return

Select_page:
Select Case Number_cadr
Case 1 : Page_mem = 1
Case 2 : Page_mem = 141
Case 3 : Page_mem = 281
Case 4 : Page_mem = 421
Case 5 : Page_mem = 561
Case 6 : Page_mem = 701
Case 7 : Page_mem = 841

```

продовження Додатку Б

```

Case 8 : Page_mem = 981
Case 9 : Page_mem = 1121
Case 10 : Page_mem = 1261
Case 11 : Page_mem = 1401
Case 12 : Page_mem = 1541
Case 13 : Page_mem = 1681
Case 14 : Page_mem = 1821
End Select
Return

Im_lcd:
Call Clear_screen(black)
Gosub Select_page

Set Cs
$asm
ldi yh,$20
ldi yl,$00
$end Asm
Set Reset_memory
Y = 1
Buf_zikl = Page_mem + 140
For Word_temp = Page_mem To Buf_zikl

Call Page_read(word_temp)
B = Y + 1
Temp1 = 1
For A = 1 To 246 Step 2

N = Buf(temp1)
$asm
lds r23,{n}
st y+,r23
$end Asm
Incr Temp1

N = Buf(temp1)
$asm
lds r23,{n}
st y+,r23
$end Asm
Incr Temp1
Next Temp1
Next Word_temp

Call Window_locate(1 , 1 , 123 , 140)

$asm
ldi yh,$20

```

```

ldi y1,$00

Send Asm

For N = 1 To 140
$asm
ldi r24,128
Drt:
  ld r23,y+
  cpi r23,200
  brlo wtt
  ldi r23,200
Wtt:
  mov temp,r23
  !Swap Temp
  lsr temp
  andi temp,$7
  mov out1,r23
  andi out1,$f9
  add out1,temp
!out spdr,out1
Waiht:
  sbis spsr, spif
  rjmp waiht
  mov out2,r23
  lsr out2
  lsr out2
  lsr out2
  lsr r23
  !swap r23

  andi r23,$e0
  andi out2,$1f
  add out2,temp
  !out spdr,out2
Wapiht:
  sbis spsr, spif
  rjmp wapiht

  ld r23,y+
  dec r24
  brne DRt
$end Asm
Next N
Set Cs
$asm
ldi r17,255
ldi yh,$20

```

продовження Додатку Б

```
Idi yl,$00
$end Asm
Color = Blue
Call String_print(41 , 141 , "Sel - next" , Blue , Black)
Call Dat_digit_print(8 , 141 , Number_cadr)
Call String_print(16 , 157 , "Menu" , Blue , Black)
```

```
Aa:
If Sel = 0 Then
Incr Number_cadr
If Number_cadr = 15 Then Number_cadr = 1
While Sel = 0 : Wend
Waitms 10
Goto Im_lcd
End If
```

```
If Menu_knop = 0 Then
Call Clear_screen(black)
While Menu_knop = 0 : Wend
Waitms 10
Goto Ab
End If
Goto Aa
```

```
Ab:
Return
```