

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ЕЛЕКТРОННІ ВАГИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 – Інформаційно-
вимірювальні технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Биков В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІРТС
Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., доц. професор каф. ІКСТ
Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 175 Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

к.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бикову Вячеславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням»

керівник роботи к.т.н., доцент кафедри ІРТС Дудатьєв І.А.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 09.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення 9 В; розрядність індикатору 6; розмір цифр по висоті не менше 10 мм; дискретність 0,05 кг у всьому діапазоні; найбільша границя зважування 100 кг; найменша границя зважування 0,2 кг; споживана потужність не більше 5 Вт.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Основні відомості про тензометричні електронні ваги. Основні компоненти та сфери застосування тензометричних електронних ваг. Вибір елементів і розроблення схеми тензометричних електронних ваг із мікропроцесорним керуванням. Розроблення конструкції тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням. Моделювання теплових процесів в конструкції тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема тензометричних електронних ваг; електрична схема тензометричних електронних ваг; топологія друкованої плати тензометричних електронних ваг; встановлення елементів на друкованій платі тензометричних електронних ваг; результати моделювання теплових режимів роботи тензометричних електронних ваг; ескізне креслення корпусу тензометричних електронних ваг.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, к.т.н. Дудатьєв І.А.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-10.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	12.12.2024	

Студент

(підпис)

Биков В.В.

Керівник роботи

(підпис)

Дудатьєв І.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.317

Биков В. В. Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма - Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 120 с. На українській мові. Бібліогр.: 38 назв; Табл. 18; Рис. 29 .

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено та досліджено тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням. Наведені результати аналізу сучасного стану тензометричних електричних перетворювачів, представлені електричні схеми каскадів що здійснюють аналогові перетворення вимірювальних сигналів. В роботі здійснено теоретичне обґрунтування та практична реалізація тензометричних електронних ваг. Розглянуто фізичні основи тензорезистивного ефекту, принцип дії тензодатчиків та їх включення в місткові схеми. Проаналізовано сучасні конструкції тензометричних ваг та їх метрологічні характеристики. Розроблено математичну модель тензометричної системи, що дозволяє оцінити вплив різних факторів на точність вимірювань. Наведено результати експериментальних досліджень розробленого прототипу ваг, які підтверджують працездатність та високу точність пристрою.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: тензодатчик, мосткова схема, електронні ваги, тензорезистивний ефект, метрологія.

ABSTRACT

Bykov V. V. Tensometric electronic scales with microprocessor control. Master's qualification work in speciality 175 Information and measurement technologies, educational programme - Computerised information and measurement technologies: VNTU, 2024. 120 p. In Ukrainian. Bibliography: 38 titles; Table 18; Fig. 29.

In the master's thesis, strain gauge electronic scales with microprocessor control were developed and investigated. The results of the analysis of the current state of the art of strain gauge electrical transducers are presented, as well as the electrical circuits of the cascades that perform analogue conversion of measurement signals. The paper provides a theoretical justification and practical implementation of strain gauge electronic scales. The physical foundations of the strain-resistance effect, the principle of operation of load cells and their inclusion in bridge circuits are considered. Modern designs of strain gauge scales and their metrological characteristics are analysed. A mathematical model of the strain gauge system is developed, which allows to estimate the influence of various factors on the measurement accuracy. The results of experimental studies of the developed prototype scales are presented, which confirm the efficiency and high accuracy of the device.

Also in the master's qualification work, the economic part of the calculations were performed.

Keywords: strain gauge, bridge circuit, electronic scales, strain-resistive effect, metrology.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ЕЛЕКТРОННІ ВАГИ	11
1.1 Загальна характеристика тензометричних електронних ваг.....	11
1.2 Будова і принцип дії тензометричних ваг	13
1.3 Історія розвитку та еволюція технології тензометричних ваг	14
1.4 Аналіз переваг і недоліків тензометричних ваг у порівнянні з механічними	15
1.5 Висновки до розділу.....	18
2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ	19
2.1 Основні компоненти і принцип дії\ тензометричних електронних ваг ...	19
2.2 Будова та принцип роботи тензодатчика	21
2.3 Електронні схеми перетворення сигналу.....	22
2.4 Перетворювачі та засоби обробки даних	24
2.5 Сфери застосування тензометричних електронних ваг	24
2.6 Класифікація електронних ваг	27
2.7 Висновки до розділу.....	30
3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ ІЗ МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ	32
3.1 Вихідні дані для розроблення тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням.....	32
3.2 Розроблення структурної схеми тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням.....	34
3.3 Розроблення електричної схеми тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням.....	38
3.4 Розроблення цифрового блоку оброблення інформації.....	53
3.5 Висновки до розділу.....	56
4 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ	57
4.1 Розробка різних варіантів конструкції пристрою та їх аналіз	57
4.2 Розрахунок площі і габаритів плати	58
4.3 Розрахунок діаметрів контактних площадок	61
4.4 Розрахунок ширини провідників	63
4.5 Тепловий розрахунок пристрою	68
4.6 Розрахунок надійності за раптовими відмовами.....	70
4.7 Висновки до розділу.....	75

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В КОНСТРУКЦІЇ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ	74
5.1 Обґрунтування вибору пакету програм для теплового моделювання пристрою	74
5.2 Результати моделювання теплових процесів плати пристрою у вакуумі	75
5.3 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою	77
5.4 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі.....	79
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	82
6.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	82
6.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	84
6.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	86
6.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	97
6.5 Висновки до розділу.....	101
ВИСНОВКИ	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал	109
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	119

ВСТУП

Актуальність теми.

Тензометричні електронні ваги – це вимірювальні пристрої, що використовуються для точного визначення маси об'єктів за допомогою тензометричних датчиків. Вони стали важливим інструментом в промисловості, науці та побуті завдяки високій точності, надійності та швидкості вимірювань [1,2]. Основний принцип їхньої роботи базується на використанні тензодатчиків, які реагують на механічні зміни (деформацію) під впливом навантаження, перетворюючи їх в електричні сигнали, що потім обробляються та перетворюються в показники маси. Сучасні електронні ваги відіграють важливу роль у багатьох сферах діяльності, забезпечуючи точність та ефективність процесів вимірювання [3,4].

Тензометричні електронні ваги є однією з найпоширеніших типів вимірювальних приладів, що широко використовуються в різних галузях промисловості, торгівлі, наукових дослідженнях та повсякденному житті [5,6]. Сучасні дослідження в цій галузі спрямовані на підвищення точності, швидкодії, мініатюризації та розширення функціональних можливостей таких ваг [7,8].

Тому розроблення та дослідження тензометричних ваг високої точності та підвищеної швидкодії з цифровим інтерфейсом із можливим застосуванням в системах IoT є актуальним науково-прикладним завданням [9, 10].

Аналіз останніх досліджень і сучасного стану.

Основними напрямками сучасних досліджень є такі:

- 1) Нові матеріали для тензодатчиків - використання наноматеріалів (нанотрубки, графен) для підвищення чутливості та міцності тензодатчиків.
- 2) Розроблення композитних матеріалів з поліпшеними механічними та електричними властивостями.
- 3) Мікроелектромеханічні системи (MEMS) - інтеграція тензодатчиків з іншими сенсорами та електронними компонентами на одній мікросхемі.

4) Створення багатофункціональних датчиків, здатних вимірювати не тільки масу, але й інші фізичні величини (температуру, вологість тощо).

5) Бездротові технології:

- розроблення бездротових тензометричних систем для дистанційного моніторингу та управління;
- використання стандартів бездротового зв'язку (Bluetooth, Wi-Fi, LoRa) для передачі даних.

6) Штучний інтелект та машинне навчання - застосування алгоритмів машинного навчання для калібрування та компенсації похибок тензометричних систем.

7) Розробка систем самодіагностики та прогнозування відмов.

8) Інтеграція з IoT - створення "розумних" ваг, які можуть взаємодіяти з іншими пристроями та системами Інтернету речей.

Перспективними напрямками розвитку є такі:

1) Біомедичні застосування - створення мініатюрних імплантованих тензодатчиків для моніторингу фізіологічних параметрів. Розробка систем для ранньої діагностики захворювань.

2) Промислова автоматизація - використання тензометричних систем для контролю виробничих процесів, забезпечення якості продукції та підвищення ефективності виробництва.

3) автомобільна промисловість - створення систем контролю маси транспортних засобів в режимі реального часу.

4) Розробка систем активної безпеки, заснованих на даних тензометричних датчиків.

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою роботи є вимірювання маси різних об'єктів з високою точністю та швидкістю.

Об'єкт дослідження – процес перетворення механічної деформації, що виникає під дією сили тяжіння зважуваного об'єкта, в електричний сигнал, який

потім обробляється електронною схемою і відображається на дисплеї ваг у вигляді числового значення маси.

Предмет дослідження – технічні та метрологічні параметри та характеристики тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені такі задачі:

1. Аналіз сучасних теоретичних відомостей про тензометричні перетворювачі.
2. Розробити структурну схему пристрою.
3. Здійснити електричні розрахунки і розробити електричну схему пристрою.
4. Здійснити комп'ютерне моделювання пристрою.
5. Дослідити метрологічні параметри та характеристики пристрою.
6. Виконати розрахунки економічної частини.

Методи дослідження

Дослідження здійснене з використанням елементів теорії мікросхемотехніки, теорії оброблення цифрових сигналів, теорії метрології.

Новизна одержаних результатів

Практичне значення отриманих результатів полягають в новій конструкції тензометричних електронних ваги з мікропроцесорним керуванням, що характеризуються підвищеними точністю вимірювання та швидкодією. Принцип дії запропонованих ваг базується на перетворенні аналогового рівня напруги, що йде від тензометричного давача у цифровий код з подальшим переведенням отриманого коду у десяткове числове значення ваги.

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Робота містить 17 таблиць, 23 рисунка та 38 літературних джерел.

1 ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ЕЛЕКТРОННІ ВАГИ

1.1 Загальна характеристика тензометричних електронних ваг

В закладах харчування і торгівлі широкого використання набули електронні ваги. Сучасні електронні ваги складаються з наступних основних елементів: вантажоприймального пристрою, електронного перетворювача, процесорного блоку, індикатора (дисплею), клавіатури, принтера. В даний час в конструкції електронних ваг застосовують такі типи перетворювачів: віброчастотні, тензометричні і п'єзокварцеві [11].

Дія тензометричного перетворювача заснована на перетворенні деформації пружних елементів, в результаті чого змінюється їх електричний опір. Пружними елементами є металеві вироби спеціальної конструкції – пластини, кільця та ін. Перетворювач – це високочутлива спіраль зі спеціального сплаву, наприклад, константану, яка особливим способом приклеюється до пружного елемента на ділянці, де деформація виражена найбільше. Перетворення вимірюваної сили тяжіння (ваги тіла) в показання зміни електричного опору відбувається в чутливому елементі тензорезистора внаслідок наявності тензорезистивного ефекту в провідникових та напівпровідникових матеріалах, тобто внаслідок їх властивості змінювати свій електричний опір при деформуванні. При деформації електричний опір тіла змінюється як за рахунок зміни його геометричних розмірів, так і за рахунок зміни питомого опору матеріалу [12].

У сучасному вигляді тензорезистор конструктивно представляє собою чутливий елемент з тензочутливого матеріалу (дроту, фольги тощо), закріплений за допомогою сполучного матеріалу (клею, цементу) на силовому елементі датчика (рис.1.1). Для приєднання чутливого елемента в електричний ланцюг у тензорезисторі є вивідні провідники.. Деякі конструкції тензорезисторів для зручності встановлення мають підкладку, розташовану між чутливим і пружним елементами датчика, а також захисний елемент,

розміщений на поверхні чутливого елемента [13].

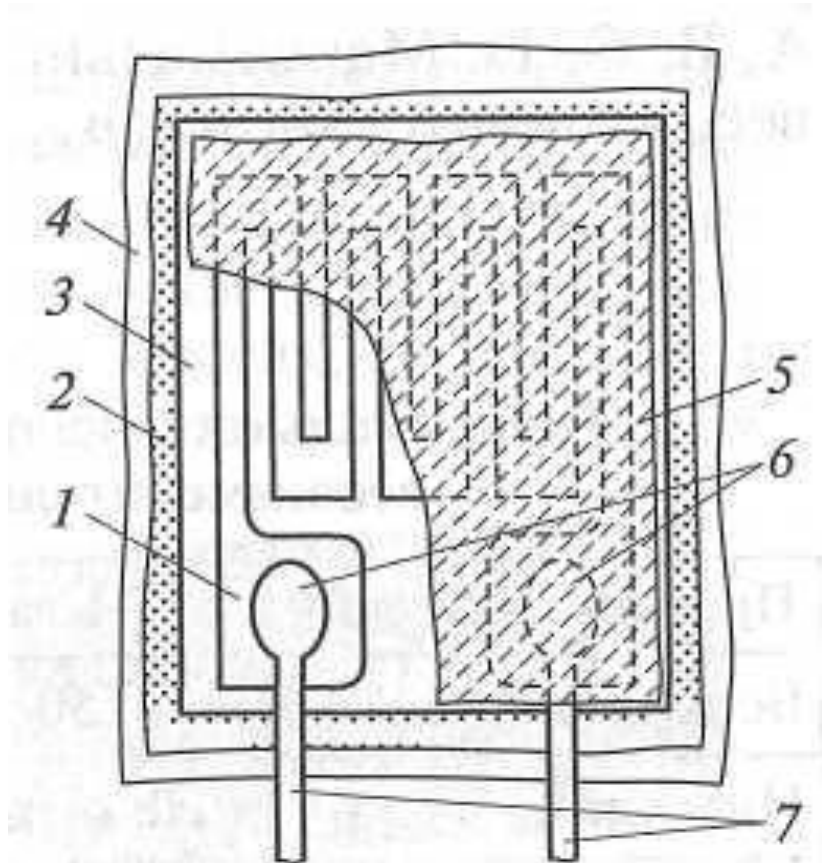


Рисунок 1.1 – Схема тензорезистора [13]:

1 – чутливий елемент; 2 – сполучний матеріал; 3 – підкладка; 4 – силовий елемент; 5 – захисний елемент; 6 – вузли паяння; 7 – вивідні провідники

Віброчастотний перетворювач - це конструктивний елемент вантажоприймального пристрою електронних ваг, який призначений для перетворення вимірюваної величини (ваги) в показники параметрів електромеханічного коливального контуру, частота колювання якого містить інформацію про вимірювану величину (вагу) [14].

Практика експлуатації віброчастотних датчиків показала, що вони забезпечують високу точність вимірювання механічних параметрів і володіють високою стабільністю характеристик [13].

П'єзокварцовий перетворювач діє за принципом зміни частоти колювань кварцового кристалу, механічно пов'язаного з пружним елементом під дією прикладеної до нього сили. П'єзокварцовий перетворювач поєднує переваги віброчастотних і тензометричних датчиків і не має їх недоліків. Цей

перетворювач володіє високим ступенем лінійності характеристики перетворення [15].

Індикатори застосовуються в електронних вагах для відображення цифрової і символічної інформації: маси, ціни та вартості товару, суми грошей, отриманої від покупця, і здачі. На них виводиться і службова інформація: повідомлення про помилки, коди програмування та ін. У більшості конструкцій електронних ваг використовуються світлодіодні і рідкокристалічні індикатори.

Світлодіодні сегментні індикатори- це напівпровідникові прилади. Вони дуже яскраво світять і дають змогу працювати з вагами при недостатньому освітленні в приміщенні. Крім того, вони міцні, довговічні і експлуатуються в широкому діапазоні температур (навіть при мінусових) [16].

1.2 Будова і принцип дії тензометричних ваг

Основою тензометричного датчика ваг є тензорезистор — елемент, що змінює електричний спротив при впливі механічного тиску. Чим більше зусилля, яке прикладається до резистора, тим значніша різниця спротиву.

Тензометричний датчик ваги пов'язаний із корпусом вагової платформи або дозатора. Зміна ваги призводить до деформації корпусу тензодатчика, показники деформації тензодавача передаються на тензорезистори і далі на ваговий термінал. Тензодатчики дозволяють вимірювати не тільки навантаження, але й низку інших фізичних параметрів, наприклад, тиск, прискорення та момент скручування.

Поширення тензодавачів зумовлено їхньою універсальністю, точністю, можливістю експлуатації у важких умовах та вбудовування у системи автоматизації. Крім того, за наявності кількох тензометричних датчиків поломка одного не виводиться з ладу ваги та дозволяє їх експлуатувати.

Принцип роботи тензометричних ваг:

1. Навантаження - об'єкт, масу якого потрібно виміряти, розміщується на платформі ваг.

2. Деформація тензодатчика. Під впливом маси об'єкта тензодатчик зазнає механічної деформації. Тензодатчик зазвичай виготовлений з матеріалів, чутливих до механічних змін, наприклад, з металів або напівпровідникових матеріалів.

3. Перетворення деформації в електричний сигнал. Тензодатчик змінює свій опір пропорційно до деформації. Ця зміна опору перетворюється в електричний сигнал завдяки використанню мостових схем (найчастіше — мосту Вітстона).

4. Обробка сигналу - отриманий електричний сигнал передається на електронний блок, де він обробляється і перетворюється в числове значення маси.

5. Відображення результату - оброблені дані виводяться на дисплей у вигляді цифрового показника маси.

Тензометричні ваги забезпечують високу точність вимірювань, їх використовують у різних галузях — від побутових до високоточних лабораторних вимірювань.

1.3 Історія розвитку та еволюція технології тензометричних ваг

Історія розвитку та еволюція технології тензометричних ваг бере свій початок з появи технологій вимірювання деформацій, які стали основою для створення сучасних електронних ваг.

1. Перші дослідження тензометрії (19 століття)

Тензометрія як наука зародилася наприкінці 19 століття, коли дослідники почали вивчати властивості матеріалів, що змінюють свої фізичні параметри під впливом механічних навантажень. Перші тензодатчики використовувалися для визначення деформації металевих конструкцій в інженерних експериментах. Ці пристрої не були настільки точними і зручними, як сучасні аналоги, але заклали основу для подальшого розвитку технології.

2. Винахід тензорезисторів (1938 рік)

Справжній прорив у тензометрії стався в 1938 році, коли американський інженер Артур Рудольф винайшов перший тензорезистор — пристрій, що змінює свій опір під впливом механічної деформації. Це відкрило можливість створення нових типів ваг, де вимірювання базується на зміні електричного опору матеріалу. Перші тензометричні датчики склалися з дровових або фольгових елементів, що кріпилися до деформованого об'єкта.

3. Розвиток технології в середині 20 століття

Після Другої світової війни тензометрія почала активно використовуватися в промисловості та наукових дослідженнях. Було вдосконалено точність тензодатчиків, а їхнє застосування розширилося на різні галузі — від авіаційної та автомобільної промисловості до архітектурних конструкцій. В цей період тензодатчики почали широко використовуватися для вимірювання навантажень та напружень у різних конструкціях.

4. Електронні ваги та мікропроцесорні технології (кінець 20 століття)

З появою мікропроцесорних технологій у другій половині 20 століття тензометричні датчики почали використовуватися в електронних вагах. Винахід цифрових дисплеїв дозволив створювати ваги, що не лише точно вимірювали масу, але й відображали її результат у зручній цифровій формі. З цього моменту тензометричні ваги стали незамінними в багатьох сферах: наукових лабораторіях, промисловості, торгівлі та навіть у побуті.

5. Сучасні тенденції розвитку (21 століття)

У 21 столітті тензометричні електронні ваги продовжують еволюціонувати. Сучасні тензодатчики стали ще більш чутливими і надійними завдяки використанню нових матеріалів, таких як напівпровідники та композити. Інтеграція ваг з комп'ютерними системами та мережами дозволяє здійснювати дистанційне керування, обробку та збереження даних. Ваги стали не лише вимірювальними приладами, але й частиною складних автоматизованих систем управління процесами.

Завдяки цим технологічним досягненням тензометричні електронні ваги зараз використовуються в різних галузях, забезпечуючи високу точність і надійність вимірювань.

1.4 Аналіз переваг і недоліків тензометричних ваг у порівнянні з механічними

Тензометричні ваги та механічні ваги – це два основні типи вагового обладнання, що використовуються в різних сферах. Кожен з них має свої переваги та недоліки.

Переваги тензометричних ваг:

- Висока точність - тензометричні ваги забезпечують високу точність вимірювань завдяки використанню електронних сенсорів.
- Висока швидкодія - тензометричні ваги швидше реагують на зміни ваги, що робить їх ідеальними для автоматизованих процесів.
- Автоматизація - можливість інтеграції з комп'ютерними системами та програмним забезпеченням для збору даних.

Недоліки тензометричних ваг:

- Вартість - тензометричні ваги зазвичай дорожчі в придбанні та обслуговуванні.
- Чутливість до умов - вимоги до стабільних умов навколишнього середовища (температура, вологість).

Переваги механічних ваг:

- Простота в експлуатації - легкі в користуванні та не потребують електрики.

- Надійність - менше піддаються поломкам у важких умовах.

Недоліки механічних ваг:

- Низька точність - менш точні порівняно з тензометричними.
- Обмежені можливості - відсутність можливості автоматизації і збору даних.

На сучасному етапі розвитку електротехніки з'явилась нагальна потреба

розробки пристроїв які мали б широкі можливості при незначних габаритах та вартості. Така необхідність пов'язана з високою конкуренцією на ринку електронної техніки.

Вирішення такої проблеми може бути у використанні мікропроцесорного ядра, яке оснащене відповідною програмою має замінити велику кількість елементної бази, тим самим заощадивши простір, час на розробку, а, отже, гроші.

Тому досить важливим є розробка електронних ваг з мікропроцесорним керуванням, які мають замінити менш точні механічні ваги, і більш дорогі аналоги.

Розробка такого пристрою обумовлена вирішенням ряду тісно пов'язаних між собою задач:

- підвищення точності зважування товару під час торгівельних операцій;
- завадостійкість;
- надійність роботи при зміні кліматичних умов.

Ваги призначені для статичного зважування вантажів, обчислення вартості товарів і цифрової індикації результатів на табло і застосовуються на підприємствах торгівлі і громадського харчування.

Ваги можуть застосовуватися і в інших галузях господарської діяльності.

Ваги можуть застосовуватися в комплексі з принтером за допомогою інтерфейсу RS-232C.

У підсумку, вибір між тензометричними та механічними вагами залежить від конкретних вимог до точності, вартості та умов використання. Тому серед різних видів електронних ваг в якості розробки було обрано лабораторні ваги, так як метою виконання цієї роботи є дослідити принцип роботи електронних ваг без додаткових операцій (окрім зважування) і без зайвої інформаційної індикації про зважувальні об'єкти.

1.5 Висновки до розділу

Цифрові тензометричні електронні ваги є важливим інструментом сучасних вимірювальних технологій, що забезпечує високу точність і надійність результатів. Вони знайшли широке застосування у промисловості, логістиці, наукових дослідженнях, медичній сфері та побутових умовах, де точне вимірювання маси є ключовою складовою процесу. Основою роботи таких ваг є тензодатчики – чутливі елементи, що реагують на механічні деформації, і перетворюють їх на електричні сигнали, які далі аналізуються цифровими схемами.

З розвитком цифрових технологій тензометричні ваги отримали низку переваг, серед яких автоматичне калібрування, компенсація температури, висока роздільна здатність вимірювань і можливість інтеграції з інформаційними системами через інтерфейси передачі даних. Це підвищило зручність їх експлуатації та дозволило використовувати тензометричні ваги в автоматизованих системах керування та обліку.

2 ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ

2.1 Основні компоненти і принцип дії\ тензометричних електронних ваг

Основними компонентами тензометричних електронних ваг (рис. 2.1) є такі.



Рисунок 2.1 – Варіант конструктивного виконання тензометричних електронних ваг

1. Вагова платформа:

- Це основа ваг, на яку ставиться зважуваний предмет.
- Платформа виготовляється з міцного матеріалу (часто сталь) і має достатню жорсткість для точного вимірювання.
- До нижньої сторони платформи кріпляться тензодатчики.

2. Електронний блок:

- Цей блок обробляє сигнали, що надходять від тензодатчиків.
- Він містить аналого-цифрові перетворювачі, мікроконтролер, пам'ять та інші електронні компоненти.
- Електронний блок виконує такі функції:
 - Підсилення слабких сигналів від тензодатчиків.
 - Перетворення аналогових сигналів у цифрові.
 - Обчислення маси зважуваного предмета на основі отриманих даних.
 - Керування індикацією на дисплеї.

3. Дисплей:

- Це пристрій, на якому відображається результат зважування.
- Сучасні ваги оснащені рідкокристалічними або світлодіодними дисплеями, які забезпечують високу чіткість зображення.
- Деякі моделі мають додаткові функції, такі як індикація перевантаження, підсвічування, інтерфейси для підключення до комп'ютера.

4. Живлення:

- Більшість тензометричних ваг живляться від мережі змінного струму або від батарейок.
- Деякі моделі мають вбудовані акумулятори, що дозволяє використовувати ваги в польових умовах.

Принцип роботи:

1. При розміщенні вантажу на платформі, вона деформується, що призводить до деформації тензодатчиків.
2. Зміна опору тензодатчиків викликає зміну електричного струму в мості Уітстона, який є основним елементом вимірювальної схеми.
3. Електронний блок перетворює зміну струму в цифрову форму і обчислює масу вантажу.
4. Отримане значення маси відображається на дисплеї.

Застосування тензометричних ваг: Тензометричні ваги широко використовуються в різних галузях:

- Промисловість: для зважування сировини, готової продукції, тари.
 - Торгівля: для зважування товарів на касах супермаркетів, ринках.
 - Логістика: для зважування вантажів на складах, транспортних засобах.
 - Сільське господарство: для зважування зерна, кормів, сільськогосподарської продукції.
 - Лабораторії: для точного зважування невеликих мас.
- Переваги тензометричних ваг:
- Висока точність вимірювання.
 - Великий діапазон вимірювання.
 - Швидкість зважування.

- Довговічність.
- Можливість підключення до комп'ютера для обробки даних.

2.2 Будова та принцип роботи тензодатчика

Тензодатчик – це електронний прилад, призначений для вимірювання механічних деформацій. Завдяки своїй високій чутливості, він широко використовується в різних галузях, зокрема у виробництві ваг, датчиків тиску, напруги та інших вимірювальних приладів.

Будова тензодатчика.

Основними елементами тензодатчика є:

- Тензорезистор: Це тонкий шар провідника (часто металевої фольги), нанесений на ізоляційну підкладку. Коли тензодатчик деформується, змінюється довжина і поперечний переріз тензорезистора, що призводить до зміни його опору. Саме цю зміну опору і фіксують для визначення величини деформації.
- Підкладка: Слугує основою для тензорезистора і забезпечує його механічну міцність. Матеріал підкладки повинен бути стійким до деформацій і мати низький коефіцієнт теплового розширення.
- Ізоляційний шар: Захищає тензорезистор від впливу зовнішнього середовища (вологи, пилу тощо) і забезпечує електричну ізоляцію.
- Захисна плівка: Захищає тензодатчик від механічних пошкоджень.

Принцип роботи тензодатчика.

Принцип роботи тензодатчика заснований на явищі зміни електричного опору провідника при його деформації. Коли на тензодатчик діє зовнішня сила, він деформується, що призводить до зміни геометричних розмірів тензорезистора. В результаті цього змінюється його опір.

Зміна опору тензорезистора пропорційна величині деформації. Цю зміну опору можна виміряти за допомогою спеціальних електронних схем. Отриманий сигнал потім перетворюється в цифрову форму і обробляється мікроконтролером.

Основні етапи роботи тензодатчика:

1. Деформація: Під дією зовнішньої сили тензодатчик деформується разом з елементом, на який він закріплений.
2. Зміна опору: Деформація тензодатчика призводить до зміни опору тензорезистора.
3. Вимірювання зміни опору: Зміна опору вимірюється за допомогою мостової схеми.
4. Перетворення сигналу: Електричний сигнал, пропорційний зміні опору, перетворюється в цифрову форму.
5. Обробка сигналу: Мікроконтролер обробляє отриманий цифровий сигнал і визначає величину деформації.
6. Виведення результату: Результат вимірювання відображається на дисплеї або передається на інший пристрій.

2.3 Електронні схеми перетворення сигналу

Основними елементами схеми перетворення вимірювальних сигналів є такі:

- Міст Уїтстона. Найчастіше використовується для вимірювання невеликих змін опору тензорезистора. Тензорезистор вмикається в одне з плеч моста. При деформації тензорезистора рівновага моста порушується, і на виході з'являється напруга, пропорційна зміні опору.
- Прецизійний підсилювач. Сигнал з моста Уїтстона, як правило, дуже слабкий, тому його необхідно підсилити. Для цього використовуються операційні підсилювачі.
- Аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Перетворює аналоговий сигнал з підсилювача в цифровий код, який може бути оброблений мікроконтролером.
- Мікроконтролер. Обробляє отриманий цифровий сигнал, виконує необхідні обчислення (калібрування, компенсація температури тощо) і виводить результат на дисплей або інший пристрій.

Типові схеми:

- Схема з повним мостом Уїтстона. Всі чотири плеча моста зайняті

тензорезисторами. Це забезпечує високу чутливість і компенсацію температурних впливів.

- Схеми з півмостом Уїтстона. Два плеча моста зайняті тензорезисторами, інші два – резисторами з постійним опором. Ця схема простіша, але менш чутлива.

- Схеми з четвертинним мостом Уїтстона. Лише одне плече моста зайняте тензорезистором. Ця схема використовується в простих вагах.

Особливості електронних схем каскадів тензометричних електронних ваг:

- Компенсація температури. Температура впливає на опір тензорезистора, тому в схемах часто використовують додаткові елементи для компенсації цього впливу.

- Лінеаризація. Характеристика тензорезистора може бути нелінійною, тому в схему можуть включатися елементи для лінеаризації характеристики.

- Фільтрація. Для зменшення впливу шумів і перешкод використовуються фільтри.

- Калібрування. Для забезпечення точності вимірювань схеми підлягають калібруванню за допомогою еталонних ваг.

Сучасні тенденції розвитку тензометричних електронних ваг:

- Використання мікроконтролерів. Сучасні тензометричні ваги використовують потужні мікроконтролери, які дозволяють реалізувати складні алгоритми обробки сигналів, забезпечувати високу точність і функціональність ваг.

- Цифрова обробка сигналів. Цифрова обробка сигналів дозволяє підвищити точність вимірювань, компенсувати нелінійності і забезпечити більш гнучку настройку ваг.

- Інтерфейси зв'язку. Сучасні ваги часто оснащуються інтерфейсами для підключення до комп'ютера або інших пристроїв, що дозволяє передавати дані про зважування і керувати вагами дистанційно.

2.4 Перетворювачі та засоби обробки даних

Основні елементи схеми перетворення

1. Міст Уїтстона:

- Принцип дії. Тензорезистор вмикається в одне з плеч моста. При деформації тензорезистора рівновага моста порушується, і на виході з'являється напруга, пропорційна зміні опору.

- Переваги - висока чутливість, можливість компенсації температурних впливів.

- Різновиди - повний міст, півміст, четвертинний міст.

2. Прецизійний підсилювач:

- Призначення - сигнал з моста Уїтстона слабкий, тому його необхідно підсилити.

- Типи - операційні підсилювачі, інструментальні підсилювачі.

- Функції- підсилення сигналу, фільтрація шумів.

3. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП):

- Призначення - перетворює аналоговий сигнал з підсилювача в цифровий код, зрозумілий для мікроконтролера.

- Розрядність - визначає точність перетворення.

- Швидкість - визначає швидкість зчитування даних.

4. Мікроконтролер:

- Функції:

- Обробка цифрового сигналу - калібрування, компенсація температури, обчислення маси.

- Управління іншими компонентами ваг (дисплей, інтерфейси).

- Зберігання налаштувань і результатів зважування.

- Виведення інформації на дисплей.

2.5 Сфери застосування тензометричних електронних ваг

Тензометричні електронні ваги завдяки своїй високій точності, різноманітності моделей та надійності знайшли широке застосування в багатьох

галузях. Їх використовують для зважування як невеликих предметів, так і великогабаритних вантажів.

Основні сфери застосування – промисловість, торгівля, сільське господарство, лабораторії та будівництво.

Промисловість

- Виробництво - контроль якості продукції, дозування компонентів, пакування.

- Логістика - зважування вантажів на складах, контроль завантаження транспортних засобів.

- Металургія - контроль маси металу під час виробництва.

Торгівля:

- Супермаркети - зважування сипучих продуктів, овочів, фруктів.

- Фармацевтика - зважування лікарських препаратів.

- Ювелірна справа - зважування дорогоцінних металів та каменів.

Сільське господарство:

- Зернові елеватори – контроль маси зерна при прийомі та відпуску (рис. 2.2).

- Тваринництво - зважування тварин для контролю їхньої ваги.



Рисунок 2.2 – Елеваторні тензометричні електронні ваги для контролю маси зерна при прийомі та відпуску

Лабораторії:

- Хімічні лабораторії - зважування реагентів (рис. 2.3).
- Медичні лабораторії - зважування зразків для аналізів.



Рисунок 2.3 – Лабораторні тензометричні електронні ваги

Будівництво

- Бетонні заводи - дозування компонентів для приготування бетону.
- Будівельні майданчики - контроль маси будівельних матеріалів.

Транспорт

- Автомобільний транспорт - зважування вантажів на автомобільних вагах (рис. 2.4).
- Залізничний транспорт - зважування вагонів.



Рисунок 2.4 – Тензометричні електронні ваги для зважування фур

2.6 Класифікація електронних ваг

Електронні ваги поєднують в собі всі переваги електромеханічних, проте позбавлені недоліків механічних ваг.

Переваги електронних ваг:

- відсутність громіздких механічних деталей в конструкції і невеликі габаритні розміри (в порівнянні з механічними);
- точність;
- надійність;
- тривалий термін експлуатації за рахунок нерухомості деталей приладу;
- автоматизація, яка мінімізує можливі помилки виміру, допущені оператором;
- наявність додаткових функцій (тарування, визначення кількості однакових предметів, усереднювання, - контрольне і процентне зважування, ведення протоколу вимірювань через додатковий принтер або комп'ютер, цифрове усереднювання (пристосування ваг до зовнішніх умов); швидкий вимір;
- можливість вибору різних одиниць виміру - унції, тройські унції, карати і т.д.

[1]



Рисунок 2.5 – Електронні ваги

Лабораторні ваги

Лабораторні ваги - ваги, що володіють найбільш високою точністю і призначені для статичного вимірювання маси в лабораторіях будь-яких підприємств і організацій, банках, ломбардах, ювелірних магазинах або майстернях і пр. По точності лабораторні ваги можна розділити на аналітичні ваги (з дискретністю не більше 0,1 мг) і прецизійні ваги (з дискретністю від 1 г до 1 мг). Деякі моделі лабораторних ваг оснащені великою кількістю додаткових функцій, таких як гідростатичний зважування (визначення щільності рідин і твердих тіл), динамічне зважування (зважування тварин або нестатичних предметів) і т. д. Лабораторні ваги можна також класифікувати за типом калібрування, а саме на лабораторні ваги з калібруванням зовнішньої гирею, внутрішньої гирею і з автоматичною калібруванням.

Торгові ваги

Торгові ваги призначені для зважування товару, фасовки і подальшого вирішення загальної вартості товару за ціною за кілограм і по обмірюваній масі. Торговельні ваги володіють широкими можливостями і орієнтовані на різні сфери застосування. Торговельні ваги можуть використовуватися як для звичайної стаціонарної роботи, так і в складі автоматизованих систем для зважування, фасування, порційного зважування і визначення вартості товару для підприємств торгівлі та громадського харчування. Торговельні ваги представлені в різному виконанні і можуть мати розташування дисплея як на корпусі, так і на стійці. Деякі торгові ваги оснащені також термопринтером для друку етикеток, що самоклеються, що стратегічно важливо для великих торговельних мереж, так як етикетка може носити не тільки інформацію про ціну і вазі товару, але також і якусь рекламну інформацію. Торговельні ваги можна використовувати на підприємствах торгівлі та громадського харчування для розрахунків між продавцем і споживачем. На вагове обладнання такого типу поширюється державний метрологічний контроль, тому торгові ваги підлягають обов'язковій державній перевірці.

Рахункові ваги

Рахункові ваги це особливий вид електронних ваг, які відрізняються від ваг порційного або простого зважування тим, що відображають інформацію на трьох різних дисплеях. Перший дисплей рахункових вагів призначений для відображення загальної ваги партії зразків, другий - для відображення ваги одного зразка; на третьому дисплеї відображається кількість зразків у партії.

Медичні ваги

Ваги медичні - це електронні ваги, призначені для роботи в медичній сфері. Медичні ваги для зважування людей дозволяють визначати та контролювати вагу тіла з необхідною для лікарів точністю. Дитячі ваги допоможуть здійснювати постійний контроль за збільшенням ваги дитини в перші роки його життя.

Кранові ваги

Кранові ваги - це один з підтипів складських ваг, так як сама їх конструкція передбачає їх використання в складських приміщеннях. Кранові ваги представляють собою міцну конструкцію, що складається з вантажопідйомного гака і металевому корпусу, що містить індикатор, сполучений з S-образним тензодатчиків на розтяг. Найбільша межа зважування кранових ваг коливається від 500 кг до 50 тонн, що дозволяє власникам складів або різних виробничих цехів бути дуже гнучкими при виборі і придбанні кранових ваг.

Автомобільні ваги

Автомобільні ваги - це ваго-вимірювальне засіб, призначений для зважування транспортних засобів різного типу. Автомобільні ваги можуть проводити вимірювання як «повісьового», тобто зважуючи кожен вісь транспортного засобу окремо (CAS RWP), або ж з можливістю зважування транспортного засобу цілком. [1]

2.7 Висновки до розділу

Серед різних видів електронних ваг в якості розробки було обрано лабораторні ваги, так як метою виконання даного курсового проекту є показати принцип роботи електронних ваг без додаткових операцій (окрім зважування) і без зайвої інформаційної індикації про зважувані об'єкти.

Сьогоднішній ринок електронних ваг пропонує широкий спектр лабораторних моделей, обрати з яких є складним завданням для покупця. Так як їх будова і принцип роботи відрізняються в незначній мірі, вибір моделі проводиться виходячи з ціни, діапазону зважування, дискретності зважування. [2]

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики ваг фірми «CAS»

Модель	AD-2,5	AD-0,5	AD-10	AD-25
Найбільша границя зваж.	2,5кг	5кг	10кг	25кг
Найменша границя зваж.	0,1 кг	0,1кг	0,1кг	0,1кг
Дискретність	0,5г	1г	2г	5г
Розрядність індикатора	5			
Напруга живл.	~110 – 240В \ 12В			
Споживана потужність	7 Вт			
Модель	ВТА-60/3-7	ВТА-60/6-7	ВТА-60/15-7	ВТА-60/30-7
Найбільша границя зваж.	3кг	6кг	15кг	30кг
Найменша границя зваж.	0,02 кг	0,01кг	0,02кг	0,02кг
Дискретність	0,2г	1г	2г	5г
Розрядність індикатора	6			
Напруга живл.	~220В \ -9В			
Споживана потужність	5 Вт			

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики ваг фірми «Масса-К»

Модель	МК-6.2-ТН11	МК-15.2-ТН11	МК-32.2-ТН11	ТВ-М-60.2-Т
Найбільша границя зваж.	6кг	15кг	32кг	60кг
Найменша границя зваж.	0,02 кг	0,04кг	0,1кг	0,2кг
Дискретність	1г	2г	5г	10г
Розрядність індикатора	6			
Напруга живлення	~220В \ 9В			
Споживана потужність	8 Вт			

Як бачимо, серед запропонованих моделей ваг суттєвих відмінностей не спостерігається, тому візьмемо за основу розробки ваги ВТА-60/30 фірми «Промприлад» і в процесі розробки забезпечимо їм наступні характеристики:

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики ваг, що розробляються

Найбільша границя зваж.	100кг
Найменша границя зваж.	0,2кг
Дискретність	50г
Розрядність індикатора	6
Напруга живлення	-9В
Споживана потужність	5 Вт

3 ВИБІР ЕЛЕМЕНТІВ І РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ ІЗ МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

3.1 Вихідні дані для розроблення тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням

Аналіз технічних вимог індивідуального завдання для розроблення тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням.

1. Найменування пристрою: Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням.

2. Призначення пристрою: ваги призначені для зважування товару при торгівельних операціях, індикації ваги.

3. Комплексність: до складу ваг входить ваговий давач і електронний блок.

4. Технічні параметри:

- напруга живлення: +9 В ;
- розрядність індикатору: 6;
- розмір цифр по висоті: не менше 10 мм;
- дискретність 0,005 кг у всьому діапазоні ваги;
- найбільша границя зважування 100,0 кг;
- найменша границя зважування 0,02 кг;
- споживана потужність: не більше 5 Вт.

5. Ступінь захисту від уражень електричним струмом: клас II.

6. Вимоги до конструкції:

- габаритні розміри ваг: не більше 350x350x100;
- маса, не більше 5,5 кг;
- ступінь захисту корпусу IP65;
- спосіб установки - горизонтальний;
- герметичне виконання корпусу ваг.

7. Середній час напрацювання на відмову : 1500 год.

8. Тип виробництва: дрібносередній.

9. Клас точності ваг по ГОСТ 29329-92 – середній.

Вирішення задач пов'язане з пошуком виконанням таких технічних рішень:

а) При використанні механічних ваг має місце невисока точність зважування товару, цього можна уникнути при використанні електричних ваг точність яких визначається похибками давача та розрядністю АЦП. Зменшення перших і збільшення других приводить до підвищення точності.

б) Зовнішнє, нестійке електромагнітне середовище є досить таки великою перешкодою на шляху підвищення точності пристрою. Мобільні телефони, стартери автомобілів, мобільні радіостанції тощо, усе це є джерелом електромагнітних завад. При оцифровці за допомогою АЦП завада завдяки своєму незначному рівневі присутня лише у молодших розрядах знехтувавши якими можна підвищити завадостійкість при невеликій втраті у точності;

в) При торгівлі на відкритому повітрі має місце відсутність зовнішніх джерел живлення. У такому випадку постає задача отримання електронних ваг які будуть працювати тривалий час без увімкнення у мережу живлення. Для вирішення цієї задачі необхідно знайти рішення, яке б забезпечене низьку споживану потужність. Для цього потрібно використати рідкокристалиевий дисплей, що одразу зменшить використання енергії на порядок, також використати мікро контролер, який матиме можливість переходу у режим мікро споживання, що також значно зменшує витрати.

г) Оскільки ваги призначені для вуличної торгівлі є дуже важливим забезпечити велику стійкість до кліматичних умов, що можуть скластися під час роботи з приладом. Виконання деяких конструктивних рішень, а також використання елементної бази з широким температурним діапазоном, може бути досить добрим рішенням цієї задачі.

3.2 Розроблення структурної схеми тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням

Цифрові тензометричні електронні ваги є сучасними приладами, призначеними для точного визначення маси об'єктів шляхом вимірювання їхньої ваги. В основі роботи цих ваг лежить принцип тензометрії — метод вимірювання деформації матеріалу під дією сили. У таких вагах використовується тензодатчик, який перетворює механічну деформацію на електричний сигнал, що дозволяє точно визначити вагу [1].

Ці особливості роблять цифрові тензометричні електронні ваги ефективними інструментами для точного вимірювання ваги у різних умовах і для різних потреб.

Схеми тензометричних ваг включають різні компоненти, що забезпечують точне вимірювання маси за допомогою тензометричних датчиків. Оскільки тензометричні ваги використовуються в різних галузях і мають різні конструкції, основні схеми можуть змінюватися, але базові елементи залишаються схожими. Нижче наведені основні схеми та компонування тензометричних ваг [7].

1) Основна схема тензометричних ваг

Базова схема тензометричних ваг включає наступні компоненти:

1. Тензодатчики (тензорезистори) – датчики, що безпосередньо вимірюють деформацію, викликану масою вантажу. Найчастіше використовуються в мостовому з'єднанні (мостова схема), що дозволяє значно підвищити точність та стабільність вимірювань.
2. Мостова схема – тензодатчики в схемі розміщені у вигляді мостового з'єднання (мост Вістона), що дозволяє перетворити зміну опору тензодатчиків на електричний сигнал, пропорційний масі вантажу. Ця схема складається з чотирьох плечей, два з яких є активними, а два – пасивними.

3. Підсилювач – після мостової схеми сигнал має низьку напругу, тому необхідний підсилювач, щоб підвищити його до рівня, зручного для аналізу. Підсилювач також може фільтрувати шум для поліпшення точності.
4. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – конвертує аналоговий сигнал у цифровий, що дозволяє обробляти його за допомогою мікроконтролера. АЦП зазвичай має високу роздільну здатність, оскільки точність ваг залежить від здатності точно вимірювати малий сигнал.
5. Мікроконтролер або мікропроцесор – відповідає за обробку даних, отриманих від АЦП, та керування вагами. Мікроконтролер також може забезпечувати додаткову обробку сигналу для мінімізації шуму, калібрування та відображення результатів.
6. Дисплей – кінцевий елемент, на якому відображається результат зважування у вигляді цифрового значення.

2) Мостова схема тензометричних ваг

Однією з найпоширеніших схем підключення тензодатчиків є мостова схема, також відома як схема Вітстона. Ця схема забезпечує високу чутливість до змін опору, що робить її ідеальною для точних вимірювань ваги. У мостовій схемі:

- Чотири тензодатчики підключені до мостової схеми так, що два з них є активними (знаходяться в зоні деформації), а два – пасивними (поза зоною деформації).
- Коли вагу прикладають до датчика, змінюється опір активних тензодатчиків, що призводить до появи різниці потенціалів (напруги) на виході мосту.
- Вихідна напруга мосту є пропорційною до прикладеного навантаження і передається на підсилювач, а далі – на АЦП.

3) Схема з кількома тензодатчиками

У випадках, коли необхідно зважувати великі або нестандартні вантажі, тензометричні ваги можуть мати кілька тензодатчиків, розміщених під різними

кутами або в різних частинах платформи ваг. Схема з кількома тензодатчиками передбачає такі етапи:

- Кожен тензодатчик під'єднаний до своєї мостової схеми.
- Вихідні сигнали від кожного мосту підсилюються та обробляються окремо, після чого сумуються.
- Така система дозволяє рівномірно розподілити навантаження та компенсувати зміщення центру ваги, що підвищує точність вимірювання.

4) Схема з компенсацією температури

Температурні коливання можуть впливати на точність вимірювань, тому для підвищення стабільності часто використовують схеми з компенсацією температури. Такі схеми включають додаткові компоненти:

- Термодатчики або терморезистори, які вимірюють температуру тензодатчика або конструкції.
- Мікроконтролер або спеціальний модуль коригує результати вимірювань, враховуючи температурний коефіцієнт матеріалу тензодатчика.
- У деяких випадках використовують спеціальні матеріали тензодатчиків, що мають мінімальну температурну залежність, або ж додаткові тензодатчики, не схильні до деформації, що дозволяє відрізнити вплив температури від навантаження.

5) Схема з самокалібруванням

Для точних вимірювань потрібна регулярна калібровка ваг, і сучасні тензометричні ваги можуть мати вбудовану функцію самокалібрування. Такі схеми включають:

- Додатковий датчик маси або калібрувальний тензодатчик, який виконує роль еталону.
- Мікроконтролер періодично активує калібрувальний датчик, порівнюючи його показання з поточними значеннями і коригуючи загальні налаштування ваг.

- Самокалібрування зазвичай відбувається автоматично при включенні пристрою або за встановленим графіком, що мінімізує похибку і знижує необхідність ручної перевірки.

б) Схема передачі даних

Сучасні тензометричні ваги можуть інтегруватися з іншими пристроями для передачі даних, і відповідні схеми забезпечують підключення за допомогою:

- USB, RS-232 або RS-485 для дротового підключення до комп'ютерів або промислових контролерів.
- Ethernet або Wi-Fi для бездротової передачі даних у мережесх умовах, що особливо зручно для великих виробничих майданчиків.
- Протоколів передачі даних, таких як Modbus, що забезпечують взаємодію з системами автоматизації.

Кожна з наведених схем має свої особливості та переваги залежно від сфери застосування і вимог до точності та надійності вимірювань.

Структурна схема електронних ваг представлена на рисунку 3.1.

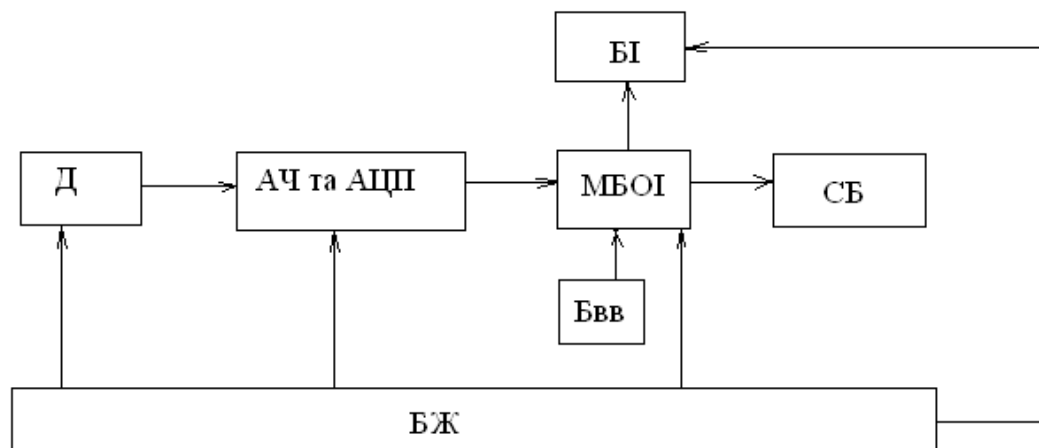


Рисунок 3.1 – Структурна схема тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням: Д - датчик; АЧ - аналогова частини; АЦП - аналогові цифровий перетворювач; МБОІ - мікропроцесорний блок обробки інформації; БІ - блок індикації; БВВ - блок введення інформації; СБ- сигналізуючий блок; БЖ - блок живлення

Будова електронних ваг базується на перетворенні зусилля від маси товару із допомогою тензометричного пристрою на електричний сигнал, пропорційний масі вантажу. Після цього сигнал надходить до контролера, який обробляє його і подає на індикаторне табло інформацію про масу товару.

3.3 Розроблення електричної схеми тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням

3.3.1 Вибір типу датчика

Датчик - це прилад у який за допомогою різного типу перетворювачів дає певну реакцію на зовнішню дію. Отже для вибору необхідного датчика необхідно обрати тип перетворювача, який буде входити до складу датчика.

Перетворювач - це прилад, який перетворює одну форму енергії в іншу. Є два основних типи перетворювачів: активні та пасивні. Активний, або автогенеруючий перетворювач безпосередньо виконує перетворення однієї форми енергії у іншу, не потребуючи зовнішнього джерела енергії або збудження. Прикладом такого перетворювача є термопара, яка видає на виході електричний сигнал, коли один з його кінців нагрівається. Пасивний перетворювач не може безпосередньо перетворювати енергію, але він керує енергією або збудженням, котрі поступають від іншого джерела.

Перетворювачі - це зазвичай перша ланка будь-якої вимірювальної системи, це зображено на рисунку 3.2.

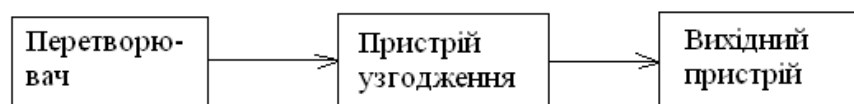


Рисунок 3.2 - Спрощена схема вимірювальної системи з використанням перетворювачів

Він може розташовуватись у корпусі пристрою, або бути винесений за його межі. Пристрій узгодження перетворює сигнал датчика, так щоб він відповідав вимогам вихідного пристрою. Цей пристрій може бути і пристроєм обробки інформації.

При виборі перетворювачів керуються трьома основними умовами: потрібні характеристики, тип перетворювача і силові елементи які використовуються.

Характеристики перетворювачів. Є кілька основних параметрів з якими доводиться рахуватись при виборі перетворювачів для конкретного використання. Чутливість перетворювача - це вихідний сигнал, зазвичай у вольтах, який виробляється при заданому вхідному сигналі і рівневі збудження. Роздільна здатність - це найменший сигнал який з можливості виміряти, а стабільність вказує, наскільки близькі результати двох вимірювань однієї і тієї ж величини.

Точність перетворювача зазвичай залежить від робочих умов. Необхідно враховувати вплив зовнішнього середовища, наприклад відхилення температури, прискорення, удари, вібрації, тощо.

Перетворювач повинен мати необхідну лінійність у всьому діапазоні вимірювань, при цьому необхідно враховувати його петлю Пстсрсіісу. Інші фактори які необхідно враховувати, - це вимоги до рівня збудження на вході і типу вхідного сигналу, так як вони повинні відповідати характеристикам вимірювального пристрою. Перетворювач також повинен мати стійкість до шуму, до яких відносяться усі сигнали, окрім вимірювального.

Класифікація перетворювачів. Перетворювачі зазвичай класифікуються по їх практичному застосуванню або за принципом дії. У таблиці 3.1 зведені ряд перетворювачів, які можуть бути використані при розробці електронних ваг.

Найбільш розповсюджено застосовувати перетворення сила-напруга для вимірювання ваги, тому використаємо групу датчиків, які перетворюють силу [9].

Силові елементи. Перетворювачі для механічних вимірювань потребують передачі зміщення або механічного навантаження (сили), щоб генерувати електричний сигнал. Це виконує сшюпий елемент, який разом з перетворювачем і складає датчик. Вибір типу силового елементу залежить від типу вимірювальної сили і характеристики перетворюючого пристрою. Наприклад, можна використовувати силові елементи з плоскою діафрагмою, мембраною або гофрованою діафрагмою щоб привести у дію ємнісний чи п'єзоелектричний датчик.

Таблиця 3.1 — Типи перетворювачів і застосування

Тип перетворювача	Вид зовнішньої дії	
	Тиск (сила)	Зміщення
Термодатчик	так	так
Потенціометричний	так	так
Лінійний диференцію-		так
ючий трансформатор	так	так
Змінна індуктивність	ні	так
Ефект Холла	ні	так-
Магніто -резистивний	ні	так
Ємнісний датчик	так	так
П'єзоелектричний	так	так

Найбільш часто використовуються при розробці електронних ваг резистивної датчики.

Резистивні перетворювачі — це датчики, у яких величина, що вимірюється, прямо чи посередньо, зазвичай через силовий пристрій, викликає зміну опору резистора. Найбільш часто використовуються такі типи перетворювачів, як потенціометричні, тензодатчики, магніто-резистори, тощо.

Для вимірювання вагових зусиль найчастіше використовують тензометричні датчики.

Тензодатчики — це датчики, що працюють на принципі зміни опору при деформації. Деформація — це зміна довжини на одиницю довжини елемента; тензодатчики вимірюють результат дії сили, тобто напруженості чи зміщення; при цьому деформація, що викликана механічною дією приводить до зміни опору. Тензодатчики бувають різних розмірів, як мінімум до 0,025 см в довжину, і можуть вимірювати деформацію до 10^{-2} . Вони можуть бути розміщені на поверхні або можуть бути вмонтовані у матеріал деформація якого вимірюється. [14]

Є три типи конструкцій тензодатчиків: проволочені, фольгові і напівпровідникові. Проволочені в свою чергу можуть бути наклеювані і не наклеювані, а напівпровідникові — наклеювані і дифузійні.

Дротяні тензодатчики. Наклеюваний дротяний тензодатчик зазвичай складається з чотирьох дротяних секцій, які намотані на рамки. Рамки розташовуються так, що тиск, нормальний до їх площини, буде викликати нахил і збільшувати тиск у двох секціях, в той же час зменшуючи його у двох інших. Дротяні секції з'єднуються так, що утворюють чотири плеча мосту, що збільшує чутливість і степінь термокомпенсації. Тиск 1000 кг/см² буде викликати деформацію порядку 0,1%, так що конструкція мосту має забезпечити її виявлення.

Не наклеювані тензодатчики мають меншу чутливість, чим ті, що наклеюються; мають більші габарити. Вони переважно використовуються у приладах, у яких являють собою частину іншого пристрою, наприклад навантажувального елемента або акселерометра.

Наклеювані напівпровідникові тензорезистори мають невелику площу поверхні, що зменшує токи втрат при високій температурі і потенціалі. Якщо мала площа непотрібна, то сучасні датчики виконуються на основі фольгових тензодатчиків. Вони мають велику площу поверхні по відношенню до поперечного перерізу, тому такі датчики найбільш стабільні на протязі тривалого часу.

Фольговий тензодатчик міцний, має відмінну лінійність і малий Гістерезис. Він має меншу чутливість, ніж керамічні датчики, але краще витримує удари, вібрації і температурні впливи. Щоб зменшити температурний вплив, звичайно використовують два датчика з сусідніх плечей вимірювального мосту. Обидва датчики знаходяться при одній температурі, але тільки один знаходиться під впливом натягу. Подовження датчика змінюється від 0,5 %, коли використовується покриття з металокераміки для роботи при високих температурах, до 5%, коли покриття виготовлене з паперу або гнучкого полімиду.

Напівпровідникові тензодатчики мають кращу чутливість порівняно з металевими датчиками, але менш лінійні і мають більш високу температурну чутливість. Тому вони використовуються у компенсаційних цілях, котрі або наносяться методом дифузії на ту ж металокерамічну поверхню, або монтуються у тій же гнучкій упаковці.

У якості вагових датчиків сучасною промисловістю використовуються, а отже виготовляються тензодатчики фольгові. Конструкція такого датчика і спосіб його встановлення показана на рисунку 3.3.

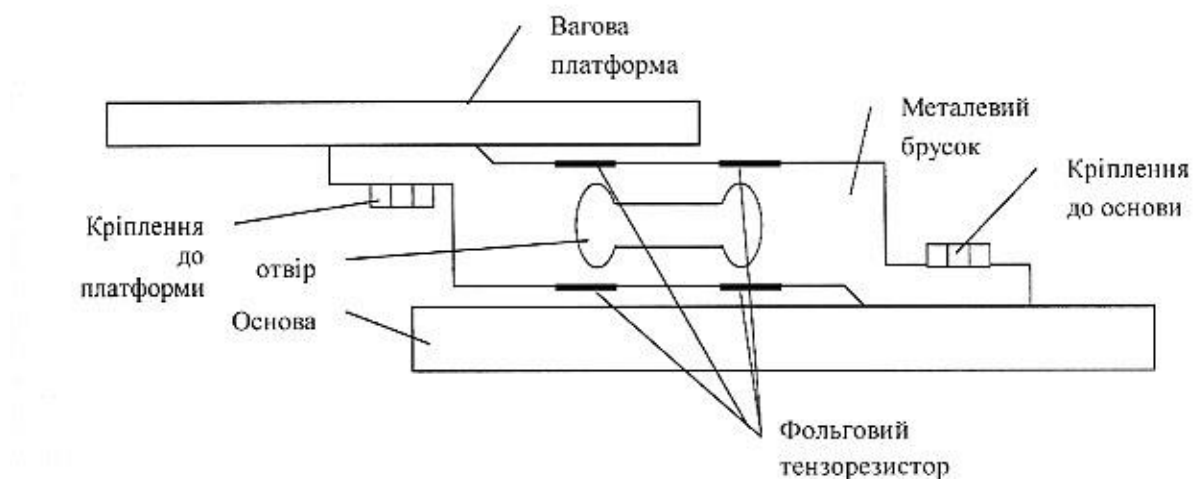


Рисунок 3.3 - Конструкція і принцип закріплення вагового датчика на основі фольгових тензорезисторів

У даній розробці електронних ваг буде застосований датчик фірми НВМ, що внесений в реєстр і сертифікований в Україні. Його технічні характеристики наступні:

максимальне навантаження, кг	.....	20;
вихідний рівень, мВ/В	.....	2,0163;
баланс нуля, мВ/В	.....	0,0017;
комбінована похибка, не більше, %	.....	0,020;
нестабільність, не більше, %	.....	0,010;
компенсація температури, °С		
мінімальна	.....	-10;
максимальна	.....	40;
робочий діапазон температур, °С		
мінімальна	.....	-20;
максимальна	.....	70;
вхідний опір, Ом	.....	393,3;
вихідний опір, Ом	.....	350,2;
максимальна напруга, В	.....	15;
зберігає працездатність, при % від максимального навантаженні	.....	150.

3.3.2 Вибір типу АЦП

Тенденції, що переглядаються при розробці і створенні сучасних АЦП і ЦАП направлені у бік збільшення їх швидкості перетворення, поліпшення дозволу і зменшення рівня споживаної потужності. Сучасні перетворювачі даних зазвичай працюють від $\pm 5\text{В}$ джерела (біполярне джерело живлення) або від $+5\text{В}$ (однополярне джерело живлення). Насправді, більшість сучасних конверторів працюють з однополярним джерелом живлення $+3\text{В}$. Така спрямованість породила ряд проблем в конструюванні і застосуванні, які були не так важливі для попереднього покоління конверторів, в яких застосовувалися джерела $\pm 15\text{В}$, а чим нижче напруга джерела живлення, тим менше діапазон

вхідної напруги і, отже, потрібна велика перешкодозахисна від всіх потенційних джерел перешкод і шумів: від джерел живлення, від опорних джерел, з боку цифрових сигналів, з боку магнітних і радіочастотних перешкод. При цьому найбільш важливим з погляду перешкодо захисної є правильне розташування елементів на друкарській платі, правильне виконання заземлення і коректні способи розв'язки АЦП з одним джерелом живлення часто мають вхідний діапазон, який не включає потенціал землі. Пошук відповідних підсилювачів з однополярним живленням і виконання зрушення рівня їх вхідного сигналу за наявності гальванічних зв'язків в схемі, також стають істотною проблемою. Не дивлячись на вказані труднощі, в даний час існують компоненти, які забезпечують вельми високий дозвіл при низькій напрузі джерела живлення і малої споживаної потужності. У цьому розділі спробуємо обговорити проблеми пов'язані з такими компонентами і продемонструвати методи успішного впровадження. Популярні прецизійні АЦП для нормування сигналів ґрунтуються на двох основних архітектурах: АЦП послідовного наближення і сигма-дельта АЦП.

- Типова напруга джерел живлення: $\pm 5\text{ В} + 5\text{ В} + 5/+3\text{ В} + 3\text{ В}$;
- Малий динамічний діапазон сигналів збільшує чутливість до перешкод і шумів всіх типів (пристроїв, джерела живлення, логіки і т.д.);
- Шум пристрою збільшується при малих струмах живлення;
- Існують обмеження для вхідної напруги синфазного сигналу.

Для реалізації високого дозволу бажано використання режимів автокалібрування.

Конструктивні вимоги до АЦП з низьким споживанням

АЦП послідовного наближення:

- дозвіл до 16 розрядів;
- використовується в системах збору даних з мультиплексуванням .

Сигма-дельта АЦП:

- дозвіл до 24 розрядів;
- надзвичайно висока диференціальна лінійність;

- наявність вбудованого цифрового фільтру, висока ослабленість змінного струму промислової частоти .

АЦП послідовного наближення є основою пристроїв нормування сигналів вже протягом багатьох років. Останні досягнення в теорії і технології розширили область застосування АЦП даного типу в мегагерцовому діапазоні. Використання методу комутації внутрішніх конденсаторів разом з методами автокалібрування довели дозвіл цих АЦП до 16 розрядів при використанні у виробництві стандартних КМОН-ПРОЦЕСІВ без дорогої лазерної підгонки.

АЦП починає виконання перетворення по зовнішній команді. При подачі сигналу СТАРТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ пристрій вибірки-зберігання (УБХ) перемикається в режим зберігання і всі розряди регістра послідовного наближення (РПн) скидаються в «0», виключаючи старший значущий розряд (СЗР), який встановлюється в «1», Регістр послідовного наближення управляє внутрішнім ЦАП. Якщо вихідний сигнал ЦАП більш ніж величина аналогового сигналу, то даний біт в РПн скидається, інакше він залишається встановленим. Потім в «1» встановлюється наступною найбільший значущий розряд. Якщо вихідний сигнал ЦАП більше, ніж вхідний аналоговий сигнал, цей біт в РПн скидається, інакше він залишається встановленим. Даний процес повторюється по черзі для кожного розряду, Після того, як всі розряди встановлені, перевірені і скинуті (чи ні) належним чином, вміст РПн відповідатиме величині вхідного аналогового сигналу, і процес перетворення завершиться.

Кінець перетворення зазвичай указується сигналом «Кінець перетворення». Полярності і назви цих сигналів можуть бути різні залежно від АЦП, але суть їх зберігається. На початку інтервалу перетворення цей сигнал переходить у високий (або низьке) стан і залишається в ньому до тих пір, поки перетворення не буде завершено.

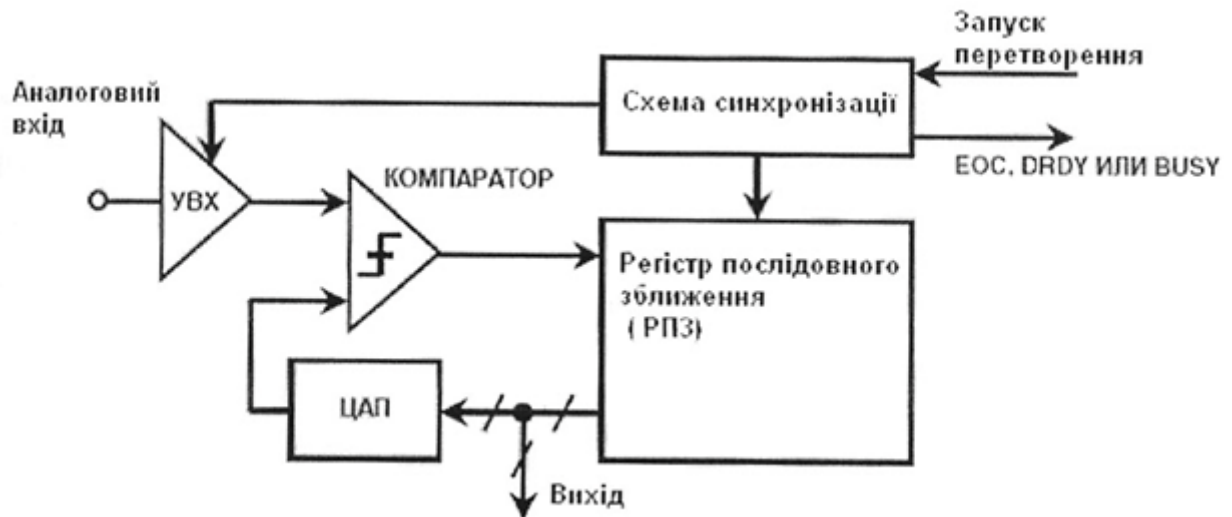


Рисунок 3.4 - АЦП послідовного зближення

Сигма-дельта АЦП. Сигма-дельта аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) відомі вже близько 30 років, проте, тільки останні успіхи в технології (надвеликі інтегральні схеми, з високою щільністю упаковки) дозволили проводити їх у вигляді недорогих монолітних ІС. В даний час вони використовуються в багатьох додатках, де потрібні вузькосмугові АЦП низької вартості, з низькою споживаною потужністю і високим дозволом.

Існує незлічена кількість описів архітектури і теорії роботи АЦП, але більшість робіт починаються з важкозрозумілих інтегралів і тим самим псується вся справа. У відділі по застосуванню фірми Analog Devices, Burr-Brown часто доводиться стикатися з інженерами, які не розуміють теорію роботи АЦП і переконані, що з існуючих робіт це зрозуміти взагалі неможливо з причини великої складності питання.

Насправді ж, не існує особливих проблем для розуміння принципу роботи АЦП, варто тільки відмовитися від детальної математики. У цьому розділі зроблена спроба пояснити дане питання. АЦП містить вельми просту аналогову електроніку (компаратор, ключ, один або більш за Інтегратори і ланцюг аналогового підсумовування), і надзвичайно складну схему цифрової обробки сигналів. Ця схема складається з цифрового процесора обробки сигналів (ЦПОС), який працює як фільтр (зазвичай НЧ-ФІЛЬТР). Для визнання факту

існування фільтру зовсім не обов'язково знати, як даний фільтр працює. Для розуміння того, як працює АЦП, потрібне детальне знання концепції передискретизації, формування шуму квантування, цифрової фільтрації і децимації:

- низька вартість, високий дозвіл (до 24 розрядів);
- дуже висока диференціальна лінійність ;
- низька споживана потужність, але обмежена смуга пропускання;
- АЦП ідеальні в додатках нормування сигналів з датчиків;
- наявність режимів калібрування: самокалібрування і автокалібрування робить даний клас АЦП придатним для використання в вагах.

Низькочастотні Дельта-сігма АЦП високого дозволу AD7710, AD7711, AD7712, AD7713, AD7714, AD7730 і ADS1241 є представниками сигма-дельта перетворювачів, призначених для виконання прецизійних низькочастотних вимірювань. Вони не дають пропущених кодів при дискретності до 24 розрядів, і їх ефективний дозвіл доходить до 22.5 біт залежно від типу пристрою, частоти модифікації вихідних даних, встановленої смуги фільтру, програмованого коефіцієнта посилення, наявності пост-фільтрації і т.д. Всі вони містять однакового дельта ядра, а їх основна різниця полягає в конфігурації аналогових входів, які оптимізовані для обслуговування різних первинних перетворювачів. Новітні представники сімейства, такі як AD7714, AD7730/AD77301 і ADS1241 призначені і специфіковані для роботи з одним джерелом живлення.

Унаслідок високого дозволу цих конверторів слід чітко розуміти ефект від дії шумів і як шуми впливають на роботу АЦП. Дане обговорення також справедливо для АЦП з низьким дозволом, але воно особливе важливо, коли питання стосується 16-розрядних АЦП. [14]

Із перерахованих АЦП розглянемо ADS1241. Цей АЦП спеціально призначений для безпосереднього підключення до датчиків мостового типу, пов'язаних із зважуваннями. Пристрій приймає сигнали низького рівня безпосередньо з вимірювального моста і дає на виході послідовні цифрові дані. Два буферизуючі диференціальні входи мультиплексируються і подаються на

підсилювач з програмованим посиленням. Підсилювач з програмованим посиленням можна конфігурувати для обслуговування диференціальних вхідних сигналів однієї полярності в чотирьох діапазонах від 0 до +10 мВ; від 0 до +20 мВ; від 0 до +40 мВ; від 0 до +80 мВ і диференціальних біполярних вхідних сигналів в чотирьох діапазонах: ± 10 мВ ± 20 мВ ± 40 мВ ± 80 мВ.

Максимально досяжний дозвіл від піку до піку (або дозвіл без шумів) складає 1 на 230000 подій, що приблизно відповідає 18 розрядам. Слід зазначити, що дозвіл без шумів є функцією діапазону вхідної напруги, частоти зрізу фільтру і частоти модифікації виходу. Шум тим вище, чим менше величина вхідного діапазону (величина посилення більша). Чим вище частота модифікації виходу і пов'язана з нею частота зрізу, тим більше шум.

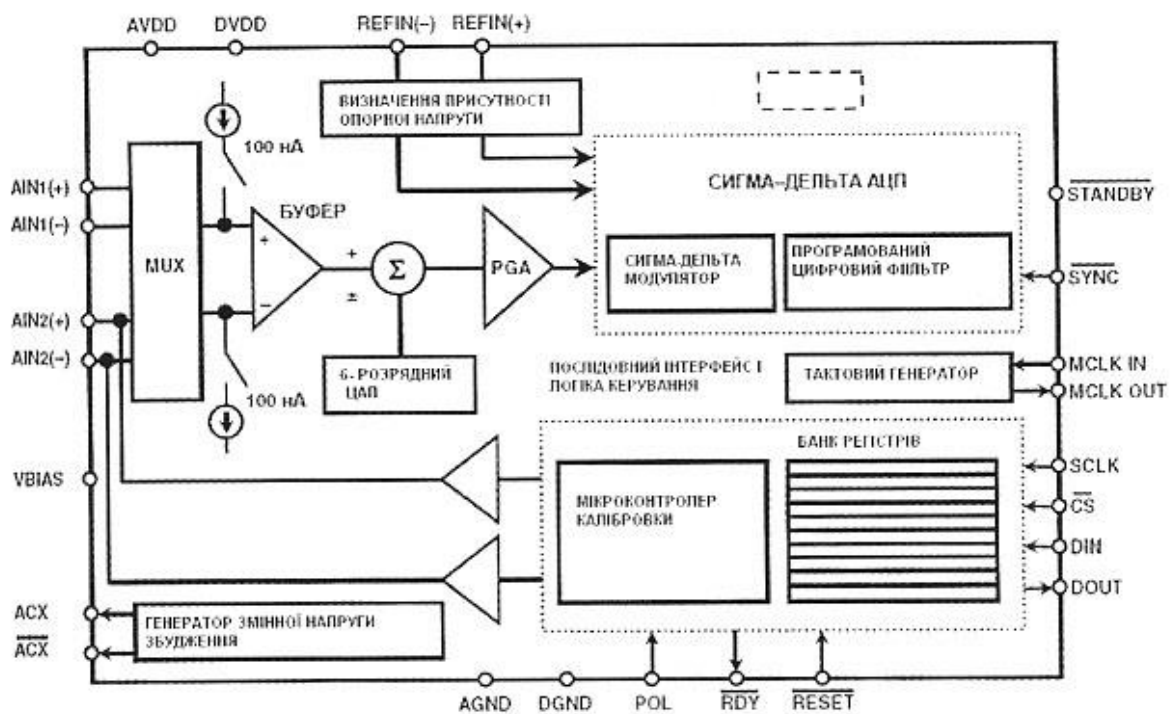


Рисунок 3.5 - ADS 1241, АЦП з однополярним живленням

Дискретність, пов'язана з функцією компенсації складає 1.25 мВ при величині опорного джерела 2.5 мВ і 2.5 мВ при величині 5 В. Вихід програмованого підсилювача подається на сигма-дельта модулятор і програмований цифровий фільтр. Послідовний інтерфейс можна конфігурувати

для 3-дротяної роботи; він сумісний з мікроконтролерами (89at8252) і з цифровими процесорами обробки сигналів. Мікросхема ADS1241 включає режими самокалібрування і системою калібрування і володіє дрейфом напруги зсуву менше $5 \text{ нВ}/^{\circ}\text{C}$ і дрейфом посилення менше $2 \text{ ррт}/^{\circ}\text{C}$.

Частота передискретизації ADS1241 складає 4.9152 МГц і частоту модифікації виходу можна встановлювати від 50 Гц до 1200 Гц. Тактова частота може бути зовнішньою або виходити від внутрішнього генератора шляхом підключення кварцового резонатора на виводи MCLK IN і MCLK OUT мікросхеми. ADS 1241 може одержувати вхідні сигнали з мостового датчика, що порушується постійною напругою. Він також може обробляти вхідні сигнали з мостового датчика, що порушується змінною напругою, шляхом використання внутрішніх сигналів збудження (ACX). ADS 1241 містить два генератори постійного струму контролю цілісності зовнішнього ланцюга по 100 на, один генератор подає струм з лінії A VDD на вхід AIN(+), а інший (рівний першому) відбирає струм з входу AIN-) на AGND. Ці струми перемикаються на задану пару аналогових входів під управлінням спеціального біта в регістрі режиму. Струми можна використовувати для перевірки працездатності датчика на заданому каналі до виконання робочих вимірювань на нім. Якщо генератори включені і вихідна напруга виходить рівною повній шкалі, тоді даний канал розімкнений (розірваний); якщо вимірюється 0 В, канал - короткозамкнутий.

3.3.3 Режими калібрування ADS1241

Цикл калібрування можна ініціювати у будь-який момент часу шляхом запису відповідних біт в регістр режиму. Калібрування виключає помилки зсуву і посилення пристрою.

- Внутрішнє калібрування 0 шкали
- потрібний 22 вихідних циклу (CHP-0 - переривання вимкнене)
- потрібний 24 вихідних циклу (CHP-1 - переривання включене)
- Внутрішнє калібрування верхньої межі шкали
- потрібний 44 вихідних циклу (CHP=0)

- потрібно 48 вихідних циклів ($CHP=1$)
- Калібрування програмується за допомогою регістра режиму
- Калібрувальні коефіцієнти записуються в регістр калібрування
- Зовнішній мікропроцесор може читати або записувати дані в регістр калібрувальних коефіцієнтів.

ADS1241 дає доступ користувачеві до внутрішніх регістрів калібрування, дозволяючи зовнішньому мікропроцесору прочитувати свої калібрувальні коефіцієнти і записувати нові із зовнішнього СППЗУ. Це дає мікропроцесору можливість здійснювати більший контроль над проведенням процедури калібрування ADS1241. Це також означає, що користувач може перевіряти коректність виконання калібрування пристроєм, порівнюючи коефіцієнти одержані після калібрування із заздалегідь записаними величинами в СППЗУ. Оскільки калібрувальні коефіцієнти одержують шляхом виконання перетворення даної вхідної напруги, точність калібрування може бути тільки такий, яка забезпечується пристроєм по шумах в нормальному режимі роботи.

Для збільшення точності рекомендується калібрувати пристрій на мінімально можливій частоті модифікації вихідних даних, тобто там, де рівень шумів найменший. Коефіцієнти одержані при будь-якій частоті модифікації даних коректні для будь-яких інших частот модифікації даних на виході. Схема калібрування на мінімальній частоті модифікації вихідних даних насправді означає, що тривалість інтервалу калібрування достатньо велика.

У такій конфігурації вихідна напруга вимірювального моста прямо пропорційного напрузі збудження, яке також використовується як напруга опорного джерела для ADS1241. Напруга на чутливих виходах моста використовуються як опорного для ADS1241 з тим, щоб виключити помилки викликана падінням напруга на опорах сполучних провідників. [23]

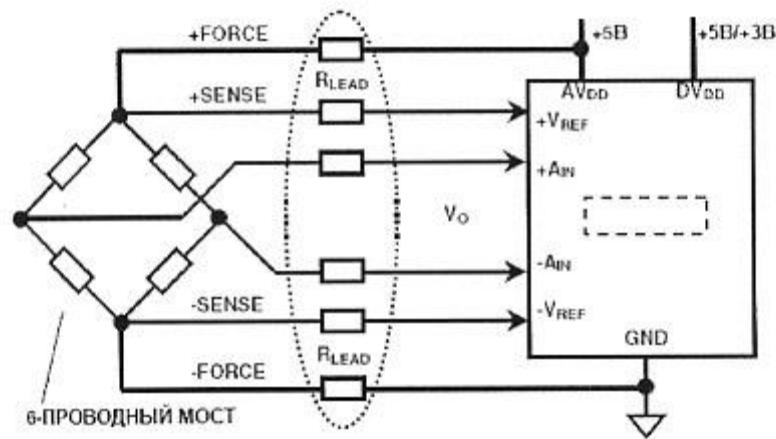


Рисунок 3.6- ADS1241 в додатках до мостової схеми

3.3.4 Розробка сигналізуючого блоку

У якості сигналізуючого блоку використаємо звукогенеруючий пристрій, який буде активізуватись для озвучення різного роду подій. Для збудження звукових коливань можна використати кілька способів:

- використати зовнішній генератор, який буде активізуватись мікроконтролером;
- використати для цього мікроконтролер, який на одному зі своїх виходів буде генерувати сигнал звукової частоти.

Перший спосіб неприйнятний для використання у даному пристрої оскільки потребує значних апаратних ресурсів і часових затрат і приводить до збільшення енерговитрат.

Тому доцільно зупинитись на використанні мікроконтролера, який на одному зі своїх виходів буде генерувати сигнал звукової частоти.

3.3.5 Розробка блоку живлення

Основним джерелом живлення даних ваг є трансформатор. Вибираємо з тих що виготовляє промисловість на ~9 В, 5 Вт. Тип БТ-9.

Для живлення електронних ваг використаю однофазну мостову схему. Вона характеризується непоганим використанням потужності трансформатору, тому рекомендується при потужних навантаженнях до 1000 Вт і більше. Переваги випрямлячів, які виконані за такою схемою полягають у підвищенні

частоти пульсацій, низька зворотна напруга на вентелях, можливість роботи без трансформатору. Недолік - підвищення падіння напруги у вентелях. [10]

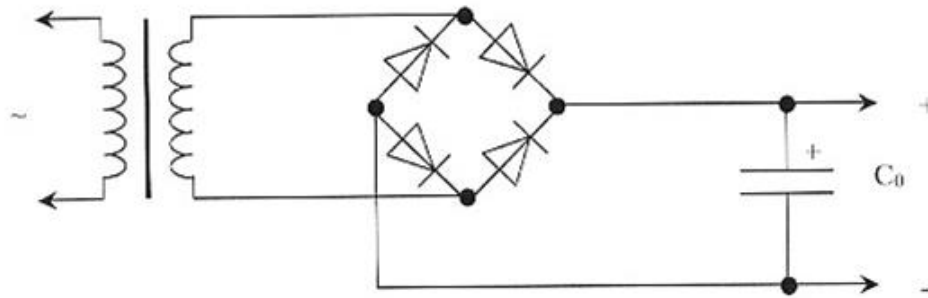


Рисунок 3.7 – Електрична схема однофазний випрямляч напруги

При виборі стабілізатора напруги він має відповідати наступним основним параметрам :

- коефіцієнт нестабільності по напрузі;
- коефіцієнт нестабільності по струму;
- коефіцієнт стабілізації напруги;
- вихідний опір стабілізатору;
- коефіцієнт корисної дії;
- коефіцієнт зменшення пульсацій.

Напівпровідникові параметричні стабілізатори - найбільш прості. Вони характеризуються невисоким коефіцієнтом стабілізації, великим вихідним опором (одиниці та десятки Ом), низьким ККД. У таких стабілізаторах неможливо отримати точні значення вихідної напруги і регулювати його.

Компенсаційні стабілізатори напруги відносяться до стабілізаторів безперервної дії і являють з себе пристрій автоматичного регулювання, який із заданою точністю підтримує напругу на навантаженні незалежно від зміни вхідної напруги і струму навантаження. Такі стабілізатори можуть стабілізувати напругу при досить високих струмах навантаження, ніж параметричні, відрізняються високим коефіцієнтом стабілізації і меншим вихідним опором.

Останній тип стабілізаторів є найбільш привабливим, особливо з огляду на їх дуже розповсюджене інтегральне виконання. Тому зупинимо свій вибір на компенсаційному стабілізаторі напруги на основі мікросхеми LM7805. Вона являє собою потужний стабілізатор напруги зі змінною вихідною напругою і

вихідним струмом 1,5А. Має вбудований захист від короткого замикання, захист від перевантаження по струму та перегріву кристалу.

3.4 Розроблення цифрового блоку оброблення інформації

Цифрові тензометричні електронні ваги відрізняються високою точністю, надійністю і зручністю у використанні. Основні характеристики цих ваг включають:

1. Тензодатчик. Основний елемент ваг, який перетворює механічну деформацію під дією ваги на електричний сигнал. Тензодатчики зазвичай виготовляються з матеріалів з високим модулем пружності, що дозволяє отримувати стабільний і точний сигнал.

2. Цифрова обробка сигналу. Отриманий від тензодатчика електричний сигнал піддається цифровій обробці, що забезпечує високу точність вимірювань. Ця обробка включає підсилення, фільтрацію та аналого-цифрове перетворення сигналу, що дозволяє знизити вплив шумів і підвищити точність.

3. Автоматичне калібрування. Більшість сучасних цифрових ваг оснащені системами автоматичного калібрування, що підвищує зручність експлуатації та точність результатів.

4. Можливості інтерфейсу. Такі ваги часто мають вбудовані інтерфейси для підключення до комп'ютера або іншого обладнання, що дозволяє збирати дані для подальшого аналізу та обробки. Інтерфейси можуть включати USB, RS-232 або бездротові з'єднання.

5. Широкий діапазон застосування. Цифрові тензометричні ваги використовуються в різних галузях: від промисловості та логістики до медицини та лабораторій. Завдяки високій точності вони підходять як для важких промислових вимірювань, так і для ювелірної та лабораторної роботи.

В основі блоку обробки інформації буде покладено мікроконтролер. Ми вирішили використовувати мікроконтролер ATMEL ATtiny2313. Такий мікроконтролер має розмір пам'яті для програмної пам'яті та зовнішньої флеш-пам'яті даних дуже кристалічний (8 Кбайт) і лише два кілобайти, адресовані

інструкціями MOVX. Порівняно з циклами програмування, які мають інші контролери Atmel, цей має рівно 1000, оскільки ресурс другого порядку (100 000 циклів стирання/запису) другого вдвічі кращий, оскільки дані оновлюються у багато разів частіше, ніж сама програма. . Окрема зовнішня пам'ять даних, розташована на кристалі, дозволила б зберігати константи, таблиці та інші дані, які можуть бути викликані для оперативних змін у роботі процесів, але без їх втрати після відключення живлення.

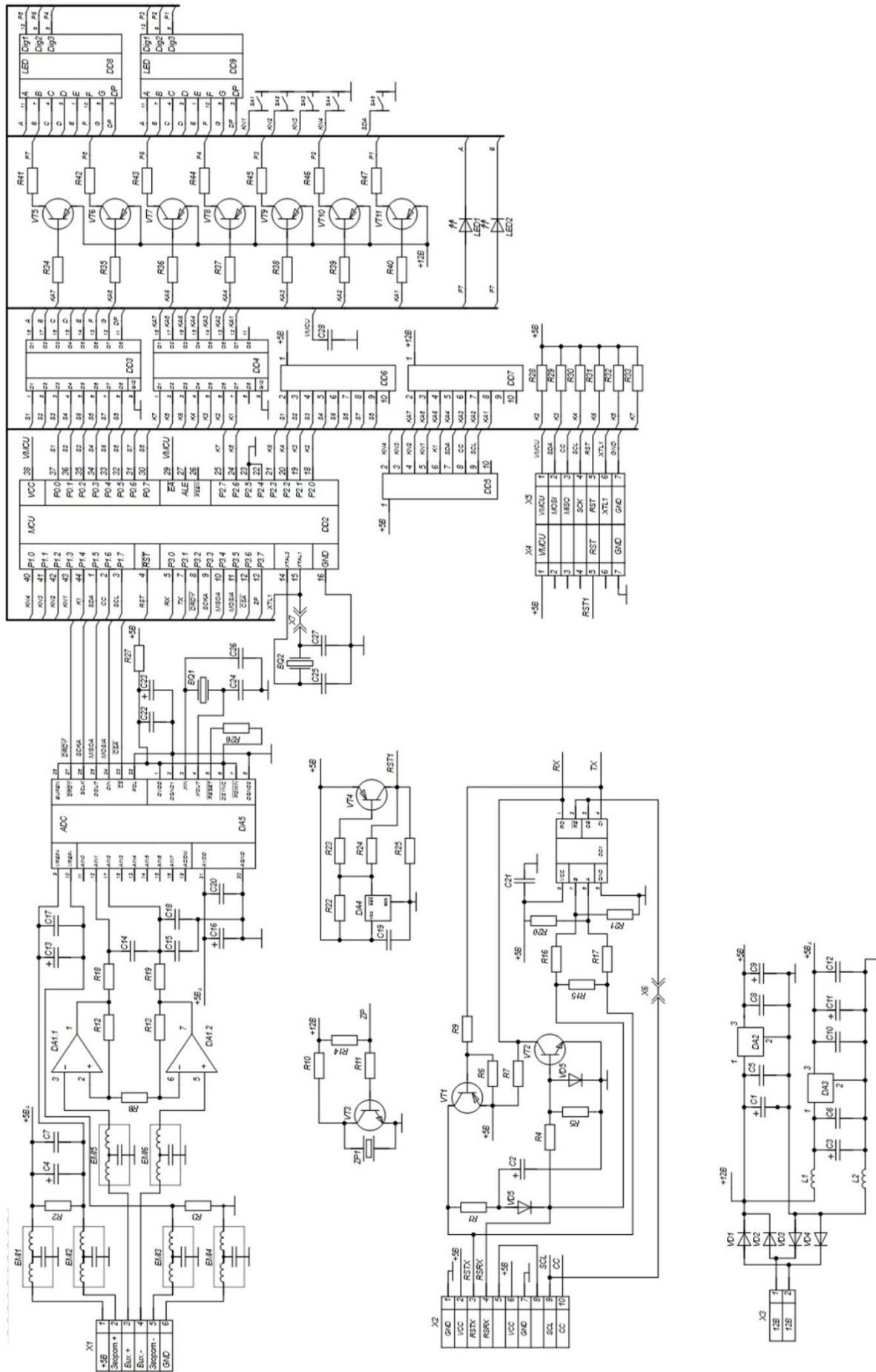


Рисунок 3.8 – Електрична схема тензOMETричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням

3.5 Висновки до розділу

У розділі розроблено структурну схему тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням. Розроблено електричну схему тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням. Проаналізовано варіанти схемної реалізації окремих блоків тензометричних ваг та їх метрологічні характеристики. Розроблено математичну модель тензометричної системи, що дозволяє оцінити вплив різних факторів на точність вимірювань. Наведено результати експериментальних досліджень розробленого прототипу ваг, які підтверджують працездатність та високу точність пристрою.

Загалом, цифрові тензометричні ваги є ефективними інструментами для точного вимірювання маси, що поєднують у собі простоту обслуговування, адаптивність до різних умов експлуатації та високу точність. Це робить їх незамінними як у промислових умовах, так і в лабораторних та наукових дослідженнях.

4 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

4.1 Розробка різних варіантів конструкції пристрою та їх аналіз

Особливий вибір блок-схем, матеріалів заготовок, розмірів деталей і будівельних форм вимагає проектування. Високі вимоги пред'являються до корпусу блоку. Він повинен забезпечити жорстке кріплення плат і з'єднання її клемм з переходами, призначеними для спілкування із зовнішніми пристроями, захист плат від впливу зовнішніх механічних і кліматичних факторів. Корпус повинен бути технологічно та економічно обґрунтованим, забезпечувати можливість монтажу та ремонту схем.

Виходячи з вищесказаного, вибір матеріалу корпусу - пластик і алюміній. Давайте подивимося, де знаходиться ця дитина з точки зору виготовлення.

Варіант №1. Цей варіант передбачає горизонтальне розміщення друкованої плати в пластиковому корпусі, що складається з двох частин, які з'єднуються самонарізними гвинтами. Спрощений варіант корпусу показаний на рис. 4.1. На нижній панелі знаходяться 4 ніжки, які є частиною корпусу.

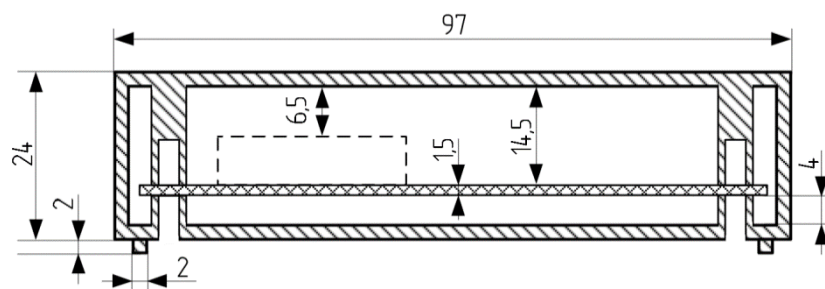


Рисунок 4.1 – Перший варіант компоновання пристрою

На задній стінці є отвір для кабелю USB, а на передній – отвір для електричних щупів. У верхній кришці також є отвір для доступу до DIP-перемикача на платі.

Варіант №2. Цей варіант передбачає вертикальне розміщення плати в алюмінієвому корпусі, як показано на рис. 4.2. Перевагою цього корпусу є його міцність в порівнянні з першим варіантом; однак недоліком є підвищена вага за рахунок корпусу.

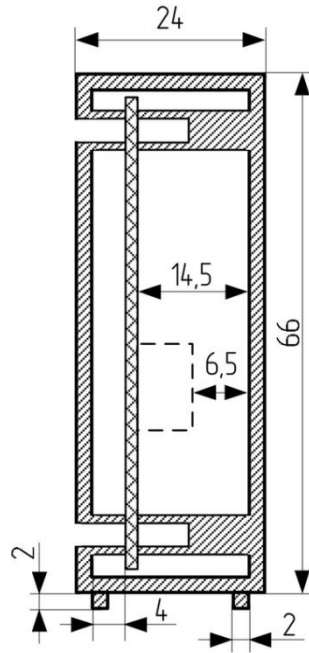


Рисунок 4.2 – Другий варіант компоновання пристрою

4.2 Розрахунок площі і габаритів плати

На друкованій платі електронних ваг, що проектується, встановлено 134 елемента.

Для SMD резисторів і конденсаторів площа встановлення складає 8 мм^2 . Отже площа, яку займають SMD резистори та конденсатори на платі становить

$$S_{\text{SMD}} = 63 \cdot 8 = 504 \text{ мм}^2. \quad (4.1)$$

Для конденсаторів типу K53-16-1000 мкФ площа встановлення складає 100 мм^2 . Отже площа, яку займають конденсатори

$$S_C = 2 \cdot 100 = 200 \text{ мм}^2. \quad (4.2)$$

Для конденсаторів типу K53-16-100 і K53-16-470 площа встановлення складає 49 мм². Отже площа, яку займають конденсатори

$$S_C = 7 \cdot 49 = 343 \text{ мм}^2. \quad (4.3)$$

Для резисторів типу C2-29 площа встановлення складає 20 мм². Отже площа, яку займають резистори

$$S_R = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм}^2. \quad (4.4)$$

Для стабілізатора напруги MC7805ABV площа встановлення складає 200 мм². Отже площа, яку займають стабілізатори

$$S_{CT} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ мм}^2. \quad (4.5)$$

Для резисторної збірки HP площа встановлення складає 40 мм². Отже площа, яку займають збірки

$$S_R = 3 \cdot 40 = 120 \text{ мм}^2. \quad (4.6)$$

Для індикаторів BT-T512RD площа встановлення складає 703 мм². Отже площа, яку займають індикатор

$$S_I = 2 \cdot 703 = 1406 \text{ мм}^2. \quad (4.7)$$

Для транзисторів SOT23-BC площа встановлення складає 6 мм². Отже площа, яку займають транзистори

$$S_{VT} = 11 \cdot 6 = 66 \text{ мм}^2. \quad (4.8)$$

Для діодів 1N4007 і 1N4148 площа встановлення складає 20 мм². Отже площа, яку займають діоди

$$S_{VD} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ мм}^2. \quad (4.9)$$

Для світлодіодів ALC площа встановлення складає 6 мм^2 . Отже площа, яку займають світлодіоди

$$S_{\text{ALC}} = 2 \cdot 6 = 12 \text{ мм}^2. \quad (4.10)$$

Для дроселів RLB0712 площа встановлення складає 64 мм^2 .

Отже площа, яку займають дроселі

$$S_{\text{RLB}} = 2 \cdot 64 = 128 \text{ мм}^2. \quad (4.11)$$

Для ЕМІ фільтрів площа встановлення складає 14 мм^2 . Отже площа, яку займають ЕМІ фільтри

$$S_{\text{C}} = 6 \cdot 14 = 84 \text{ мм}^2. \quad (4.12)$$

Для кварців PBFHC49 і PBCHC49 площа встановлення складає 40 мм^2 . Отже площа, яку займають кварци

$$S_{\text{BQ}} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ мм}^2. \quad (4.13)$$

Для кнопок TP1212A1 площа встановлення складає 144 мм^2 . Отже площа, яку займають кнопки

$$S_{\text{C}} = 6 \cdot 144 = 864 \text{ мм}^2. \quad (4.14)$$

Для роз'ємів PLS-6, PLD-10, PLS-7 площа встановлення складає 56 мм^2 . Отже площа, яку займають роз'єми

$$S_{\text{C}} = 4 \cdot 56 = 224 \text{ мм}^2. \quad (4.15)$$

Для джамперів J254 площа встановлення складає 10 мм^2 . Отже площа, яку займають джампери

$$S_{\text{C}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ мм}^2. \quad (4.16)$$

Крім того площі встановлення мікросхем, які зустрічаються на схемі в одиничному числі, складають:

- операційний підсилювач AD7582AR 32 мм²;
- супервізор MAX809LD 12 мм²;
- АЦП ADS1241UPBF 110 мм²;
- мікросхема 485 інтерфейсу 32 мм²;
- процесор AT89S8252-24 144 мм².

Загальна площа елементів складає: $S_{\text{елем}} = 4981 \text{ мм}^2$

Отже загальна площа друкованої плати буде дорівнювати

$$S_{\text{ДП}} = (2 \div 5) * \sum S_{\text{елем}} = 2 * 4981 \text{ мм}^2$$

Оскільки, плата двостороння і має багато SMD елементів, що розміщені на одній стороні плати, її розрахункові розміри будуть 9962 мм². Враховуючи відстані між елементами та провідниками, а також те що кожен з блоків матриці повинен знаходитися на невеликій відстані один від одного, щоб вхідний сигнал одного блоку не наводив завади на вихідний сигнал іншого блоку, а також особливості конструювання друкованих плат у відповідності до ГОСТ 10317-79 обираємо такі геометричні розміри плати: 130х107,5. Тоді площа однієї сторони друкованої плати буде 13975 мм², а всієї плати 27950 мм².

Висновок: такі геометричні розміри задовольняють розрахунковим значенням, що проведені для друкованої плати.

4.3 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розраховується залежно від діаметрів отворів за формулою

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 * e + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (4.17)$$

де $d_{\text{отв}}$ – діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{отв}}$ – верхній допуск на діаметр отвору;

e – ширина гарантійного пояса;

$\Delta t_{\text{в}}$ – верхній допуск на ширину провідника;

$\Delta t_{\text{тр}}$ – допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d – позиційний допуск розміщення отворів;

T_D – позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

$\Delta t_{\text{нв}}$ – нижній допуск на ширину провідника.

Для двосторонньої плати третього класу значення параметрів наступні:

$\Delta d_{\text{отв}} = 0$ мм; $e = 0,1$ мм; $\Delta t_b = 0,1$ мм; $\Delta t_{\text{тр}} = 0$; $T_d = 0,08$ мм; $T_D = 0,15$ мм;

$\Delta t_{\text{нв}} = 0,1$ мм.

Визначаємо загальний допуск

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0 + 2 \cdot 0,1 + 0,1 + 0 + \sqrt{0,08^2 + 0,15^2 + 0,1^2} = 0,5 \text{ (мм)}.$$

Діаметри отворів розраховуються за формулою

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2 \dots 0,4),$$

$d_{\text{вив}}$ – діаметри виводів радіоелементів.

В даному приладі елементи мають наступні діаметри виводів

$$0,6; 0,5; 0,25 \text{ мм.}$$

Здійснюємо оптимізацію діаметрів отворів

$$d_1 = 0,6 + 0,6 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм;}$$

$$d_3 = 0,25 + 0,25 = 0,5 \text{ мм.}$$

Маємо три діаметри отворів

$$d_1 = 1,2 \text{ мм;}$$

$$d_2 = 1 \text{ мм;}$$

$$d_3 = 0,5 \text{ мм.}$$

Знаходимо діаметри контактних площадок

$$D_1 = 0,5 + 0,5 = 1 \text{ мм};$$

$$D_1 = 1 + 0,5 = 1,5 \text{ мм};$$

$$D_2 = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ мм}.$$

В даному пункті було розраховані діаметри контактних площадок, які рівні 1; 1,5 та 2 мм.

4.4 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників проводиться для шин живлення та для інформаційних провідників.

Для шин живлення

$$B_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (4.18)$$

де $j_{\text{доп}}$ – допустима густина струму, для двосторонньої плати, виготовленої комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 48 \text{ А/мм}^2$, (таблиця 4.1)

t – товщина провідника (фольги), $t = 35 \text{ мкм}$, (таблиця 4.1)

$I_{\max}$ – максимальний постійний струм, який проходить через провідник, $I_{\max} = 0,5 \text{ А}$.

Таблиця 4.1 – Допустима густина струму в залежності від методу виготовлення

Метод виготовлення	Товщина фольги, мкм	Допустима густина струму, А/мм ²	Питомий опір, Ом · мм ² / м
Комбінований позитивний	20	75	0,0175
	35	48	
	50	38	

Обчислюємо

$$B_{min} = \frac{0,5}{48 \cdot 0,035} = 297 \text{ мкм } (< 500 \text{ мкм}).$$

Визначимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння напруги

$$b_{min} = \frac{I_{max} \cdot \rho \cdot l_{max}}{\Delta U_{доп} \cdot t}, \quad (4.19)$$

де ρ – питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

I_{max} – струм, який проходить по провіднику, $I_{max} = 0,1 \text{ А}$;

l_{max} – максимальна довжина провідника, $l_{max} = 0,125 \text{ м}$;

$U_{доп}$ – допустиме падіння напруги (становить 5% від напруги живлення $U_{доп} = 5 \cdot 0,05 = 0,25 \text{ В}$);

t – товщина провідника.

$$b_{min} = \frac{0,1 \cdot 0,0175 \cdot 0,125}{0,25 \cdot 0,035} = 0,025 \text{ мм} = 25 \text{ мкм } (< 500 \text{ мкм})$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують обраних для третього класу точності.

Топологія друкованої плати наведена на рис. 4.3 і рис. 4.4. Ескізні креслення встановлення елементів на друкованій платі наведені на рис. 4.7 і рис. 4.8.

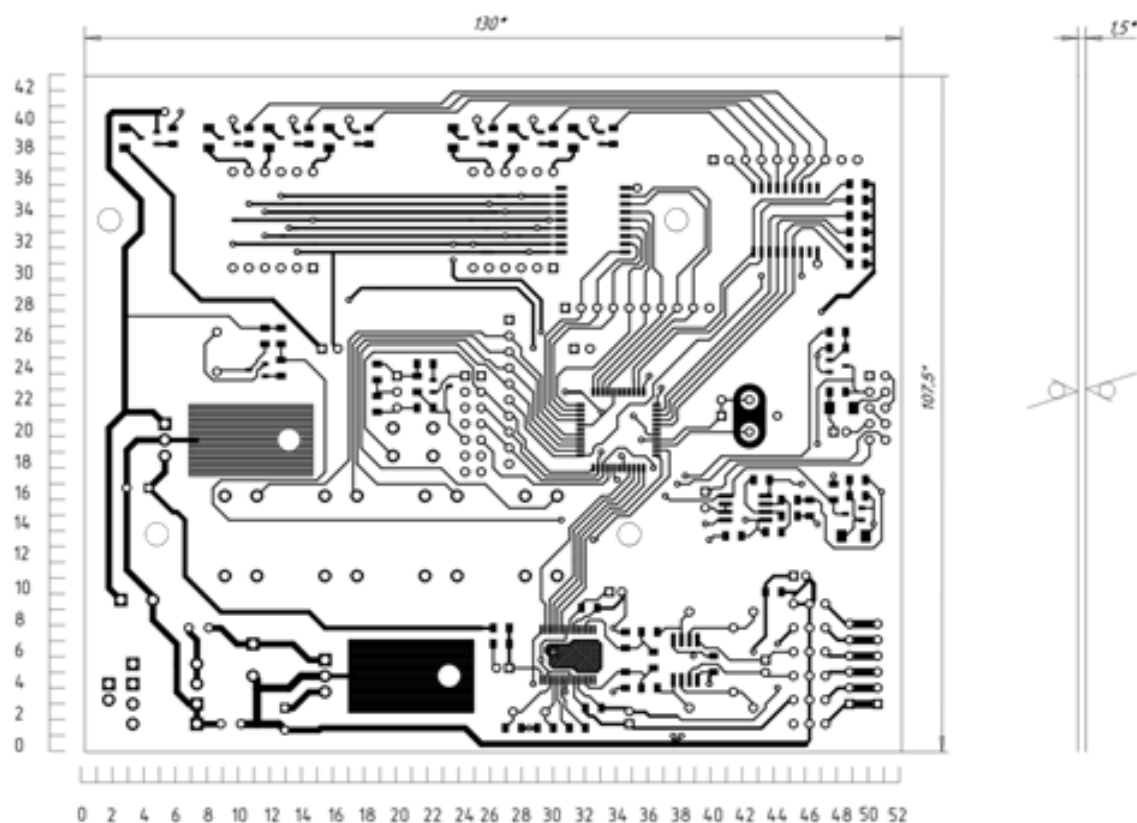


Рисунок 4.3 – Топологія друкованої плати (вигляд згори)

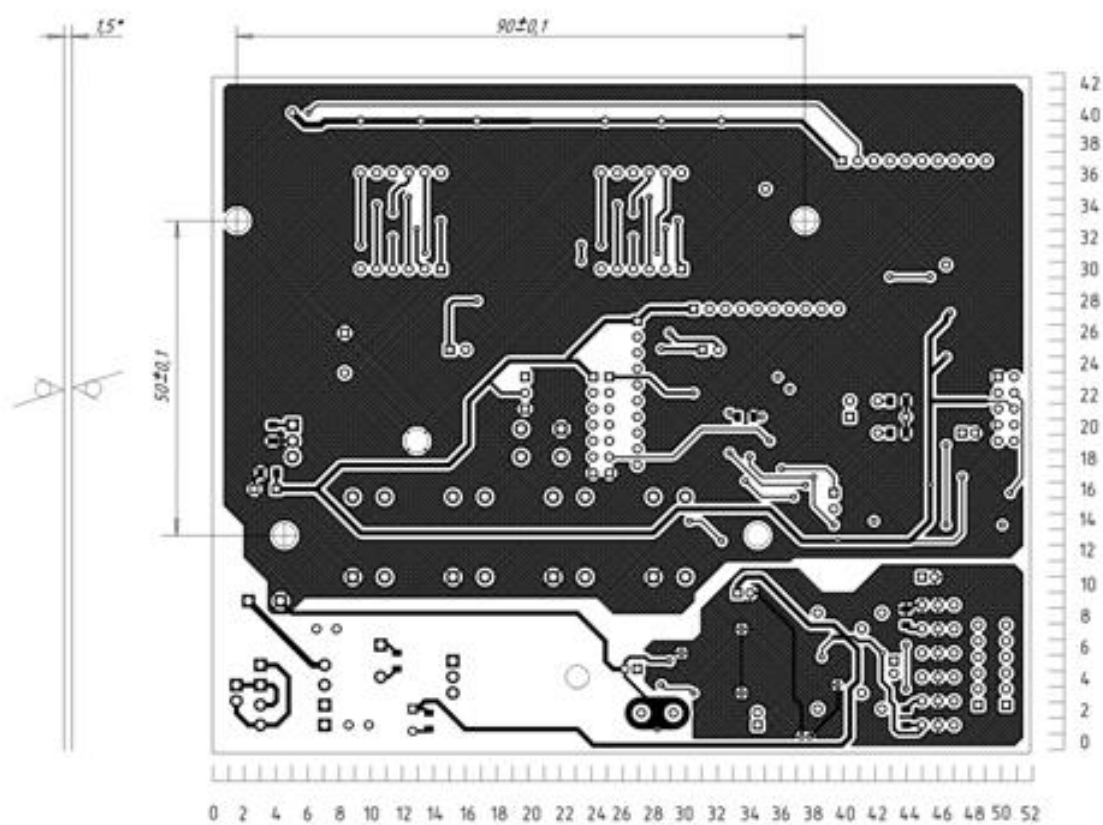


Рисунок 4.4 – Топологія друкованої плати (вигляд знизу)

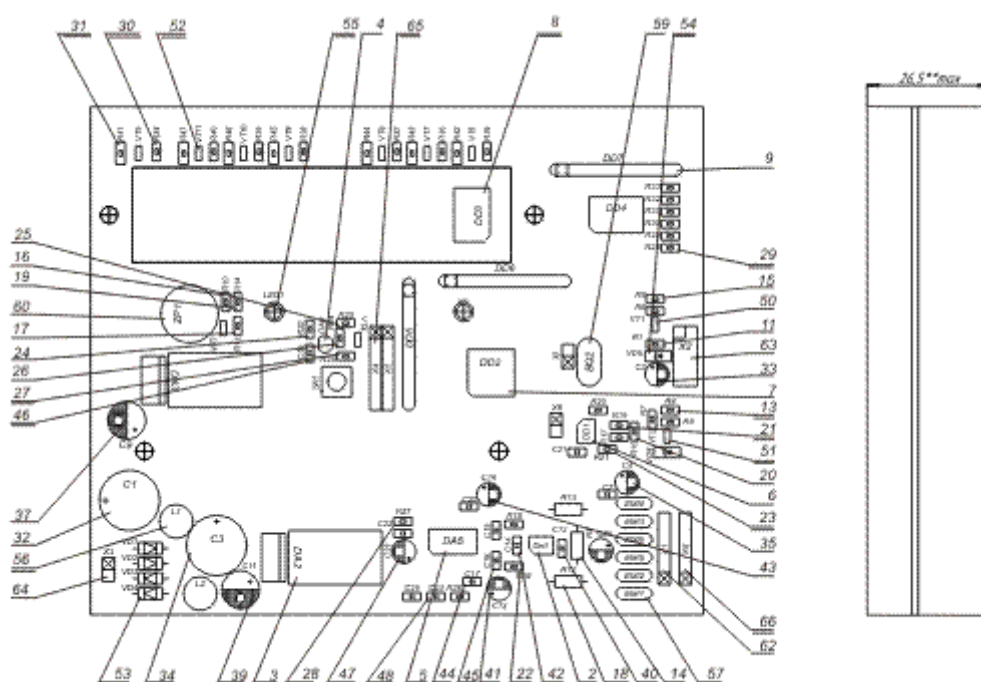


Рисунок 4.5 – Ескізне креслення встановлення елементів на друкованій платі

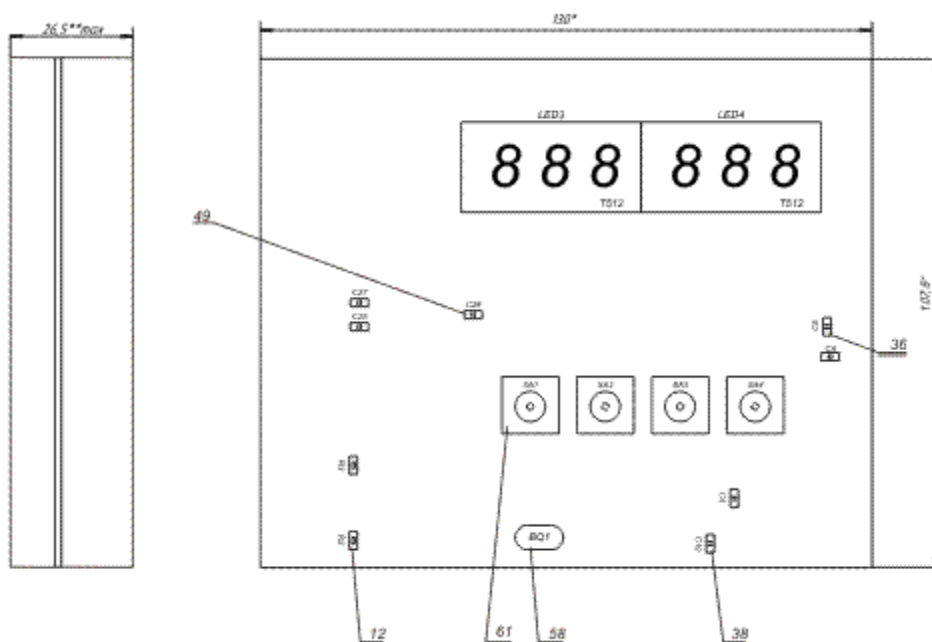


Рисунок 4.6 – Ескізне креслення встановлення індикатора та клавiш керування

На рис. 4.7 наведено ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд спереду та збоку), а на рис. 4.8 наведене ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд ззаду).

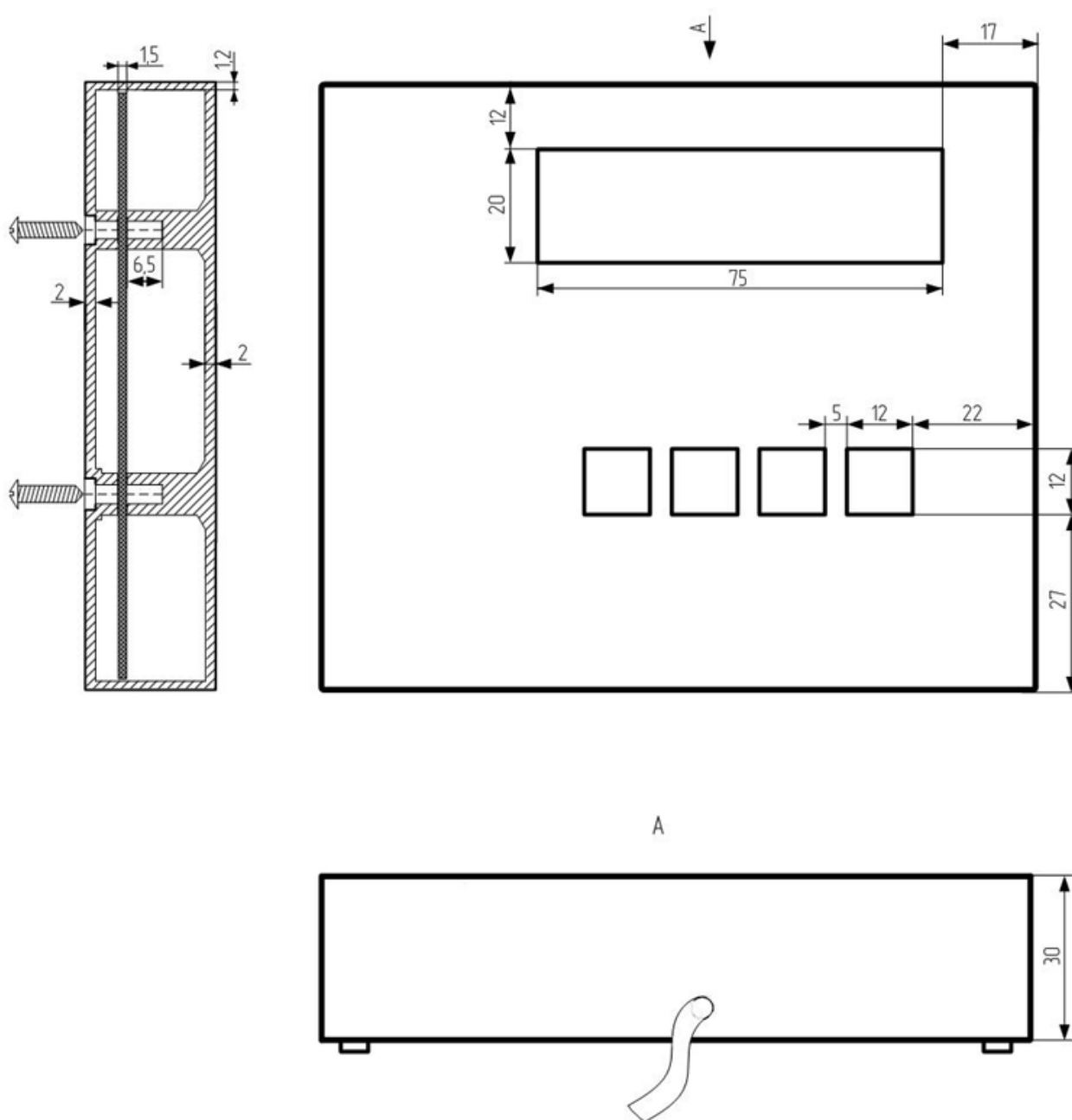


Рисунок 4.7 – Ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд спереду та збоку)

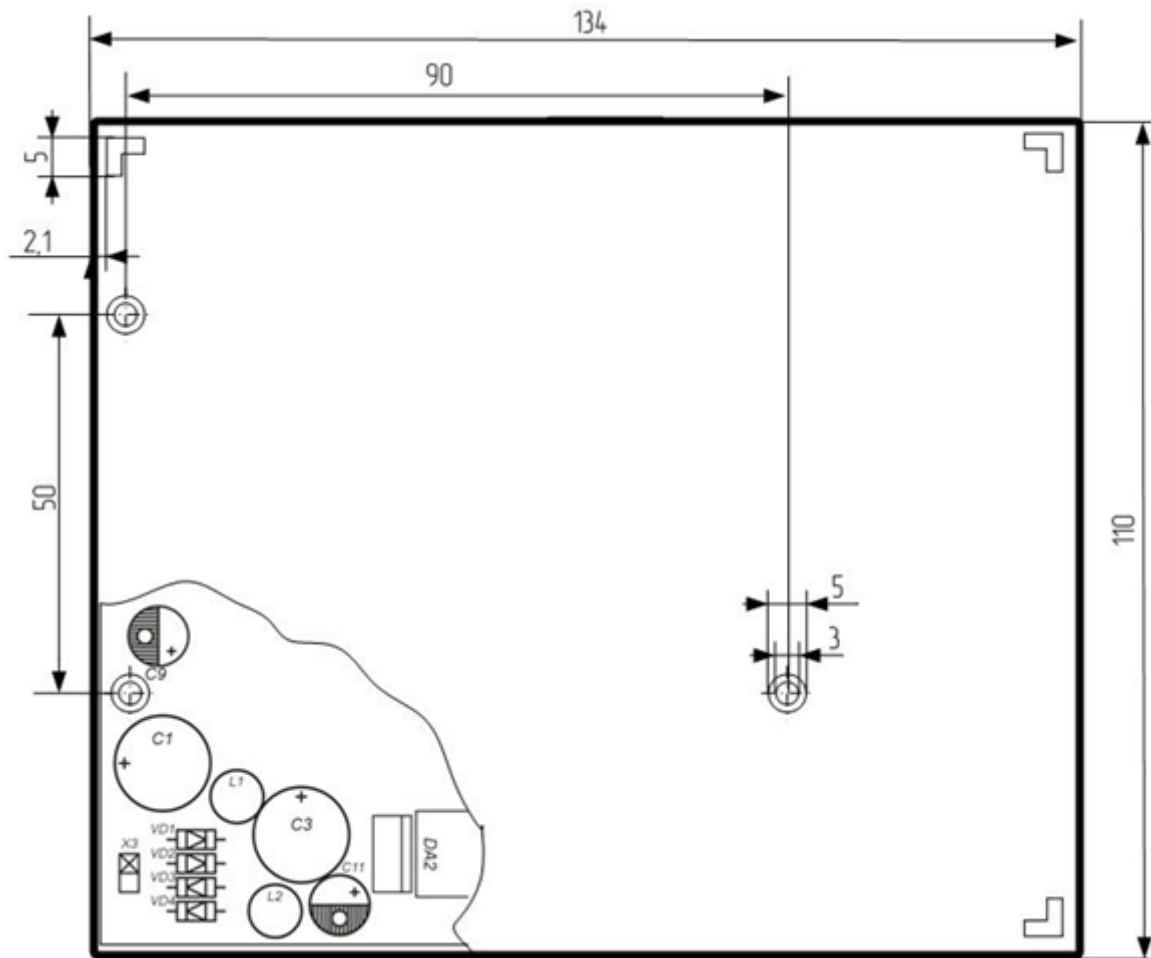


Рисунок 4.8 – Ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд ззаду)

4.5 Тепловий розрахунок пристрою

При використанні та зберіганні, у міру використання апарат знаходиться в різному ступені тепла. Сама система виділяє тепло, оскільки ККД мікросхем становить 50...60%, тобто значна частина енергії перетворюється в тепло. Якщо ця енергія не буде розсіяна, це призведе до підвищення температури системи, що призведе до збільшення інтенсивності відмов.

Визначимо тепловий режим і таким чином підберемо відповідну систему охолодження пристрою за формулою: $Q = KZAP \cdot (V/S) \cdot c \cdot \Delta t$ і коефіцієнт наповнення KZAP; де V – внутрішній об'єм приладу, S – площа поперечного перерізу пристрою, вибраного для встановлення охолоджувача, c – питома

теплоємність повітря при постійному тиску, Δt – різниця температур робочого та середовища. Вихідні дані для розрахунків:

а) Внутрішні розміри приладу $0,13 \times 0,1075 \times 0,0265$ м;

б) Внутрішній об'єм приладу $V = 3,7 \cdot 10^{-4}$ м³;

в) Споживана потужність дорівнює $P = 5$ Вт;

г) Коефіцієнт заповнення $K_{ЗАП} = 0,5$;

д) $T_{\text{макс.}}$ — температура навколишнього середовища — прийнята як найбільш несприятлива для всіх деталей - $T_{\text{макс.}} = +85^\circ\text{C} = 358$ К.

(е) максимально допустимий адіабатичний нагрів повітря в апараті (при найвищій температурі повітря $T_{\text{пов}} = 40^\circ\text{C} = 313$ К):

$$\theta_{\text{с.доп}} = 358 - 313 = 45(\text{K}).$$

Визначаємо коефіцієнт форми пристрою

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}}, \quad (4.20)$$

де H – висота блоку, м;

V – внутрішній об'єм пристрою, м³;

$$K_0 = \frac{0,0265}{\sqrt[3]{3,7 * 10^{-4}}} = 0,37.$$

Визначаємо площу поверхні відведення тепла за формулою

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{ЗАП} \cdot \sqrt{K_0} \right), \quad (4.21)$$

отримаємо:

$$S_3 = \sqrt[3]{(3,7 * 10^{-4})^2} * \left(\frac{2}{0,37} + 4 * 0,5 * \sqrt{0,37} \right) = 0,033 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Визначаємо питомий тепловий потік нагрітої зони

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (4.22)$$

де Φ – потужність розсіювання, яка становить 40% від споживаної потужності:

$$\Phi = 0,4 * 5 = 2 \text{ (Вт)};$$

$$q_3 = \frac{0,002}{0,033} = 0,06 \left(\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right).$$

Перегрівання для апаратури з природною конвекцією

$$M[\theta_B] = 38 \text{ K}.$$

Порівнюємо значення $\theta_{\text{в.дон}} = 50 \text{ K}$ і отримане значення

$$\theta_{\text{в.дон}} > M[\theta_B],$$

а отже, забезпечено умови нормального теплового режиму, і природної конвекції для цього достатньо.

4.6 Розрахунок надійності за раптовими відмовами

Надійність РЕА підвищується зі зростанням складності РЕА та кількості елементів і, як правило, визначається надійністю елементів, тому одним із основних шляхів підвищення надійності РЕА є вибрати більш надійні електрорадіоелементи (ЕРЕ). Відзначено, що надійність обладнання багато в чому залежить від рівня технології виробництва. Це призводить до ситуації, коли, наприклад, при однаковій кількості елементів радіоелектро-пристроїв, виготовлених із засобами радіозв'язку та електроніки; останній буде в десятки разів надійнішим. Тому рекомендується, щоб, виробляючи РЕА з великомасштабними інтегральними схемами та вищим рівнем інтеграції збірки, необхідно використовувати якомога більше інтегральних схем із підвищеним рівнем інтеграції. [10]

Помилкою РЕА вважається такий стан, коли один або декілька параметрів не відповідають вказаним технічним характеристикам. Несправність - це стан, коли РЕА втрачає здатність виконувати призначені функції. Катастрофічний збій є результатом стрибка одного чи кількох параметрів до крайньої межі допустимих значень або за її межі.

Інтенсивністю відмов називають число

$$\lambda = \frac{m}{N \cdot t}, \quad (4.23)$$

де

m – кількість виробів, що відмовили за час t ;

N – число справних елементів на початку періоду.

Цей параметр є функцією інтенсивностей відмов елементів апаратури

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_i, \quad (4.24)$$

де

C_i – кількість елементів даного типу, що входять в апаратуру;

λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента.

Імовірність справної роботи апаратури протягом часу t визначається формулою

$$P(t) = \exp(-\lambda t). \quad (4.25)$$

Середній проміжок часу між двома послідовними відмовами (напрацювання на відмову) визначається так:

$$T = \frac{1}{\lambda} \text{ год.} \quad (4.26)$$

Чисельно надійність можна оцінити кількома параметрами.

За даними таблиці 4.2 інтенсивність відмов електронних ваг становитиме

$$\lambda = 124,6 \cdot 10^{-6} \text{ год}$$

Період напрацювання на відмову складе $T = 1/124,6 \cdot 10^{-6} = 8064 \text{ год.}$

Імовірність безвідмовної роботи протягом 1000 год. Становитиме $P = 0.87$.

Таблиці 4.2 – Параметри EPE для розрахунку надійності електронних ваг

Тип елемента	Кількість	Інтенсивність відмов, $\lambda \cdot 10^{-6}$ год.		Кількість контактів (пайок)	Загальна кількість пайок
		одного елемента	Загальна		
AD7582 SO8	1	2.5	2.5	6	6
MC 7805 ABV	2	2.4	4.8	3	6
ADS1241U BBF	1	2.5	2.5	24	24
ADM485AP SO8	1	2.0	2.0	8	8
AT8958252-24AU	1	2.7	2.7	44	44
ULN2803A SO18	2	2.1	4.2	18	36
HP 1-4-9	3	2.05	6.15	10	30
BT-T512RD	2	1.7	3.4	12	24
SMD 0805	37	0.4	14.8	2	74
C2-29 B	3	0.7	2.1	2	6
SMD 1206	7	0.5	3.5	2	14
K53-16	9	1.44	12.96	2	18
SMD 0805	19	0.9	17.8	2	38
SOT23-BC 807	9	1.5	13.5	3	27
SOT23-BC 847	2	1.7	3.4	3	6
IN 4007 PBF	4	2.5	10.0	2	8
1N4148 / A52A	3	1.5	4.5	2	6
ALC	2	1.0	2.0	2	4
RLB 0712	2	0.44	0.88	2	4
EMI-VFS	6	1.65	9.9	3	18
KTP1210	1	1.8	1.8	2	2
Пайки			1.0	154	409
Всього			124.6	243	652
Примітка – *) на один контакт					

Таблиця 4.3 – Імовірність справної роботи електронних ваг протягом часу

t, год	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
P(t)	0,883	0,779	0,688	0,608	0,536	0,474	0,418	0,369	0,326	0,288

За даними з таблиці 4.3 будемо графік ймовірності справної роботи електронних ваг протягом часу. Побудову виконуємо за допомогою програми Microsoft Excel.

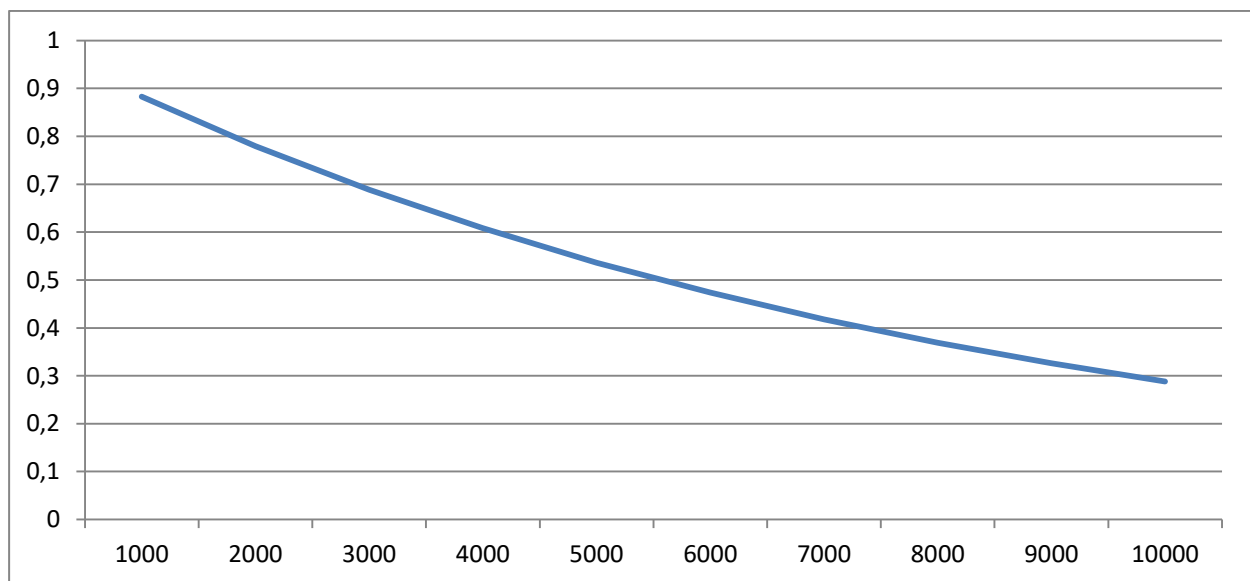


Рисунок 4.9 – Графік ймовірності справної роботи електронних ваг протягом часу

4.7 Висновки до розділу

Висновок щодо тензометричних електронних ваг можна зробити, враховуючи їхню конструкцію, принцип дії та численні переваги. Тензометричні ваги є високоточними приладами, які знайшли застосування у широкому спектрі галузей завдяки здатності точно вимірювати масу об'єктів, їхній стійкості до зовнішніх впливів і можливості інтеграції з іншими системами для автоматизації процесів.

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В КОНСТРУКЦІЇ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ВАГ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

5.1 Обґрунтування вибору пакету програм для теплового моделювання пристрою

Метрологічні характеристики тензометричного датчика визначаються основним блоком датчика, який перетворює виміряне механічне значення в електричний вихідний сигнал. Недоліком напівпровідникових сенсорів є досить сильна нелінійна залежність температури від таких характеристик, як чутливість і опір, а також нелінійність функції передачі деформації щодо зміни опору. Щоб подолати ці дефекти, було розроблено безліч структурних і схемних методів компенсації похибок, які сьогодні дозволяють виробляти датчики з базовим рівнем похибки 0,5%, плюс додаткові температурні похибки в діапазоні від 0,1 до 0,4% на кожні 10°C у діапазоні температур. від -50 до +125°C.

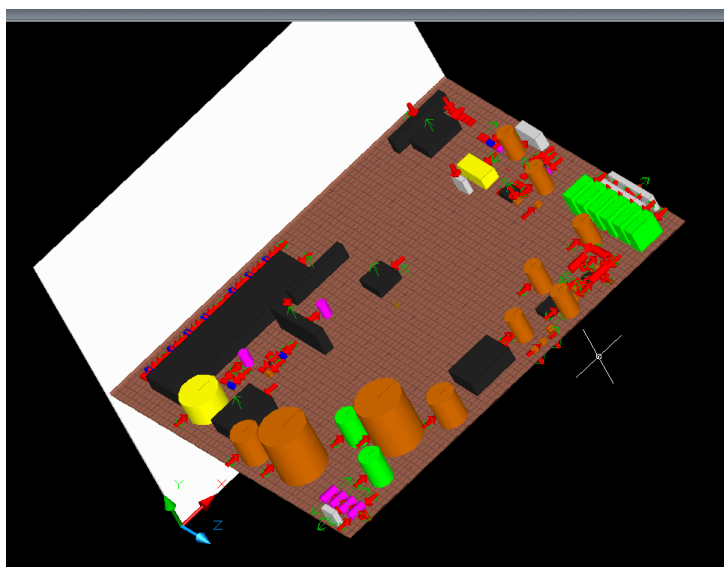
Моделювання теплових режимів конструкції тензометричних електронних ваг з мікропроцесорним керуванням було здійснено з використанням програми Thermal Desktop. Програма Thermal Desktop включає всі аспекти створення теплової моделі, включаючи вбудовані об'єкти кінцевої різниці, кінцевих елементів і зосередженої ємності, які можна об'єднати в будь-яку конфігурацію для вирішення складних проблем із потоком тепла та рідини. За допомогою Thermal Desktop користувачі в різних галузях можуть створювати віртуальні прототипи для розробки більш надійних продуктів, починаючи від автомобільних компонентів і закінчуючи пілотованими космічними кораблями.

Thermal Desktop включає всі аспекти створення моделей. Вбудовані об'єкти кінцевої різниці, кінцевих елементів і зосередженої ємності можна

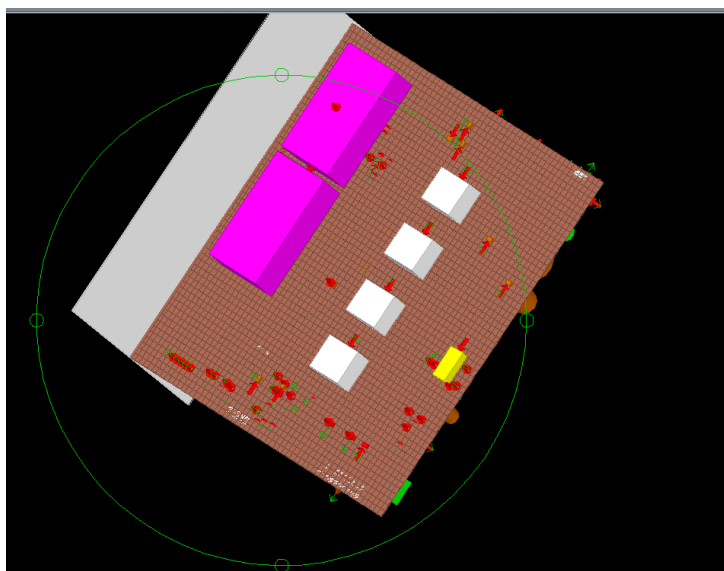
комбінувати в будь-якій конфігурації. Теплові специфічні об'єкти, такі як контактна провідність, ізоляція, теплові навантаження та нагрівачі.

5.2 Результати моделювання теплових процесів плати пристрою у вакуумі

Результати моделювання теплових процесів плати пристрою у вакуумі наведені на рис. 5.1 – рис. 5.2.

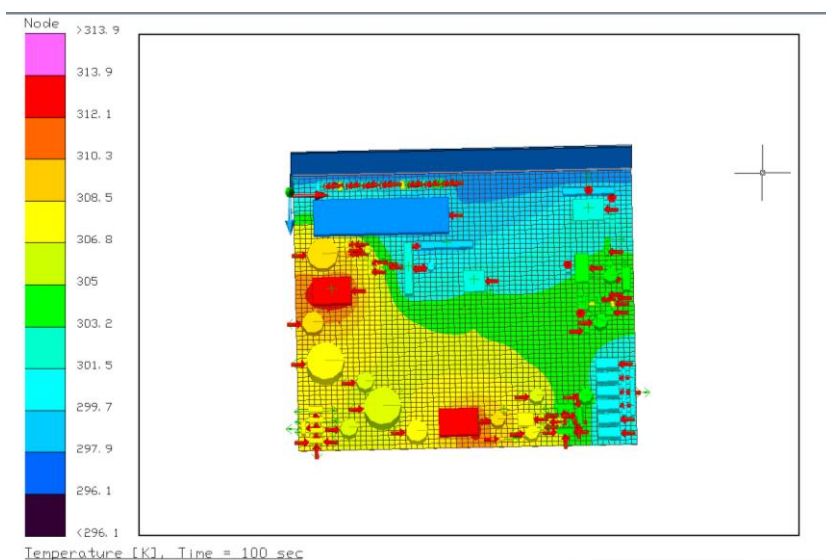


(а)

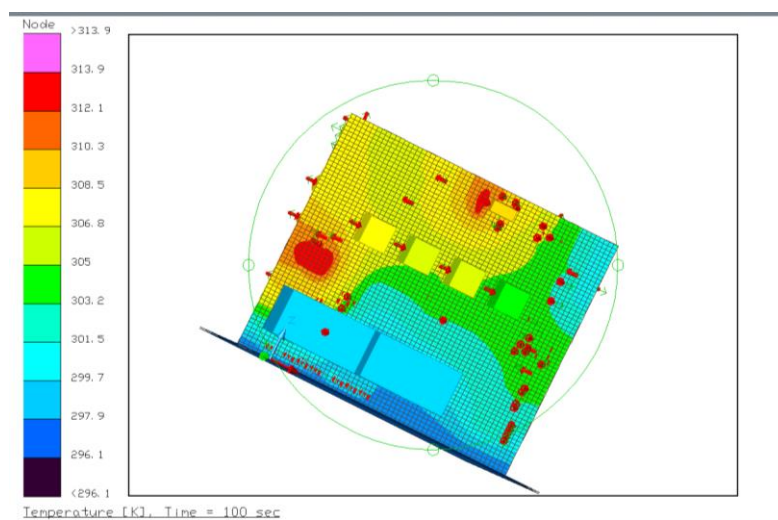


(б)

Рисунок 5.1 – Модель індикатора відхилення напруги Thermal Desktop: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок



(a)



(б)

Рисунок 5.2 – Зміна температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок

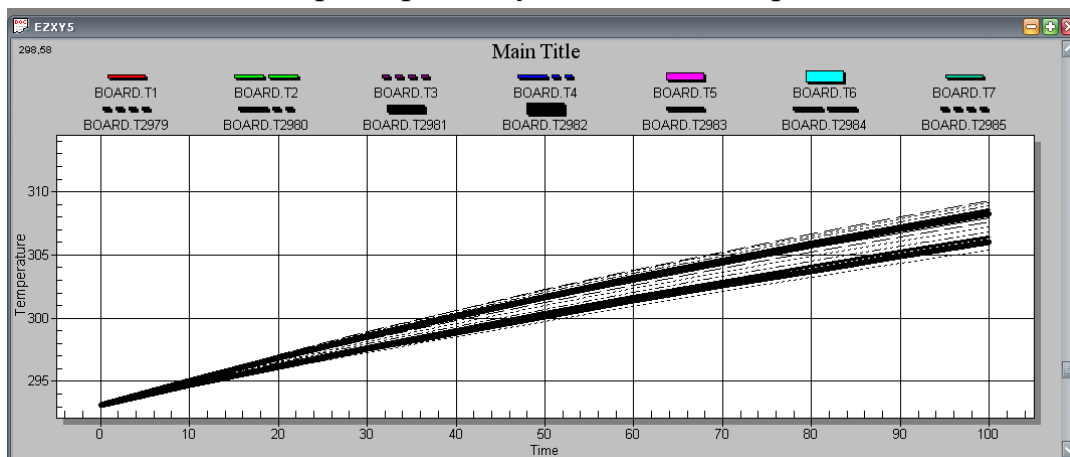


Рисунок 5.3 – Графіки залежності температури від часу для плати

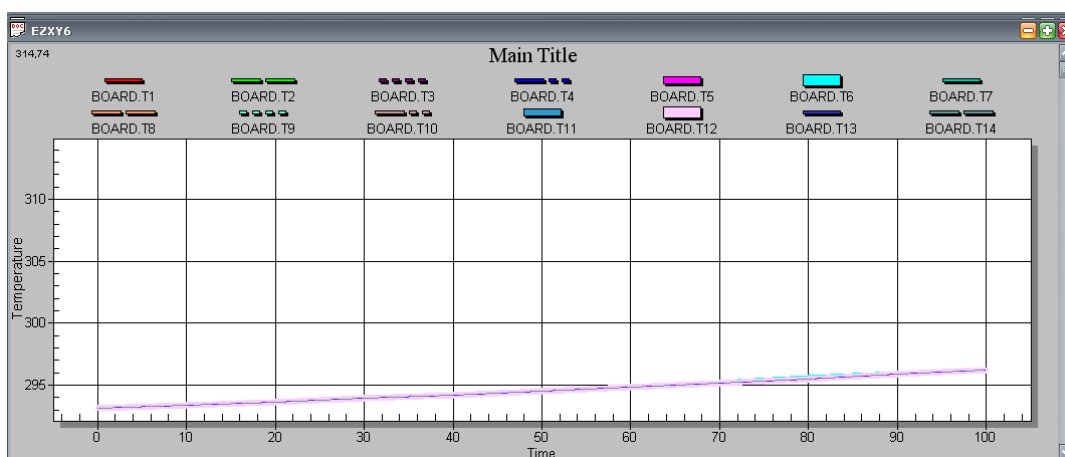


Рисунок 5.4 – Графіки залежності температури від часу для обраної елементної бази

5.3 Моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою

Результати моделювання теплових процесів пристрою з граничною точкою наведені на рис. 5.5 – рис. 5.8.

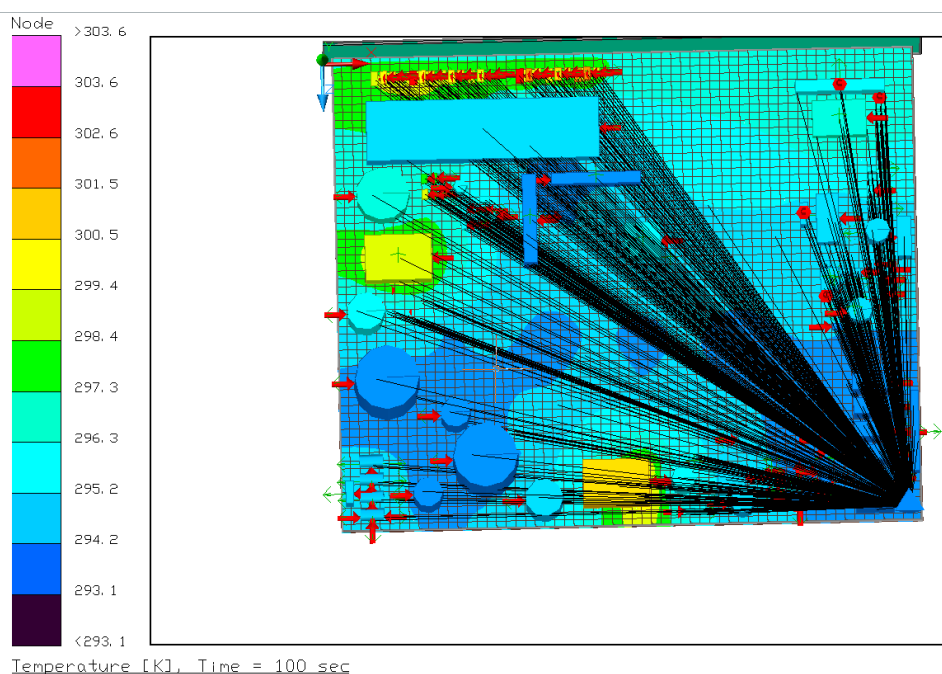


Рисунок 5.5 – Провідники між зовнішнім середовищем та платою

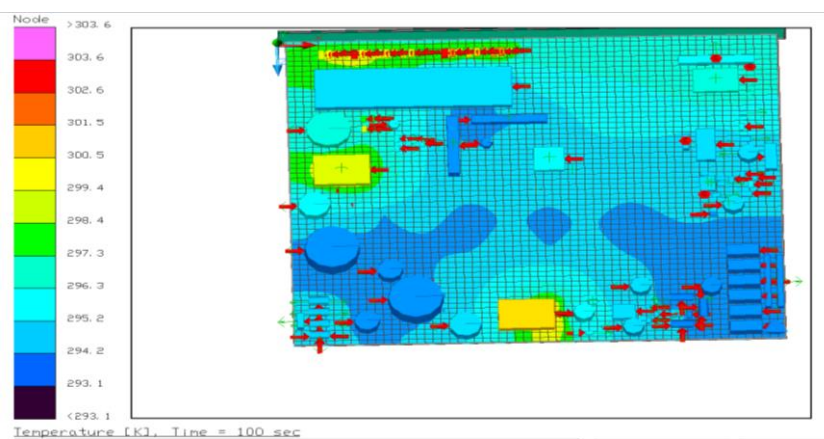


Рисунок 5.6 – Вплив точки обдуву на зміну температурного тону плати під час її нагрівання в динамічному режимі

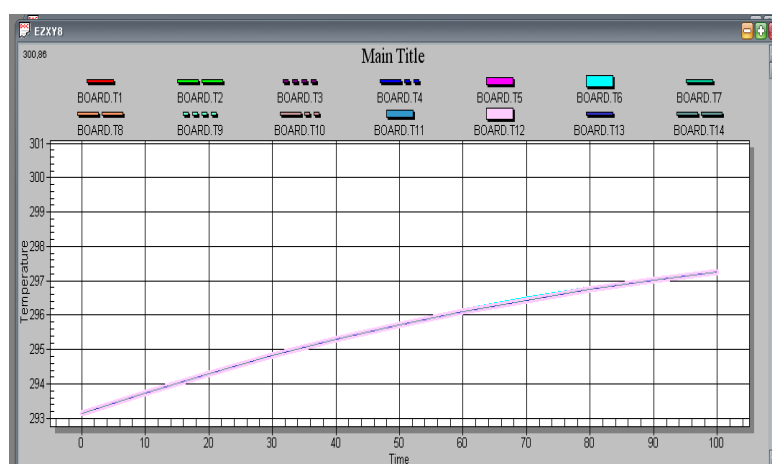


Рисунок 5.7 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для плати

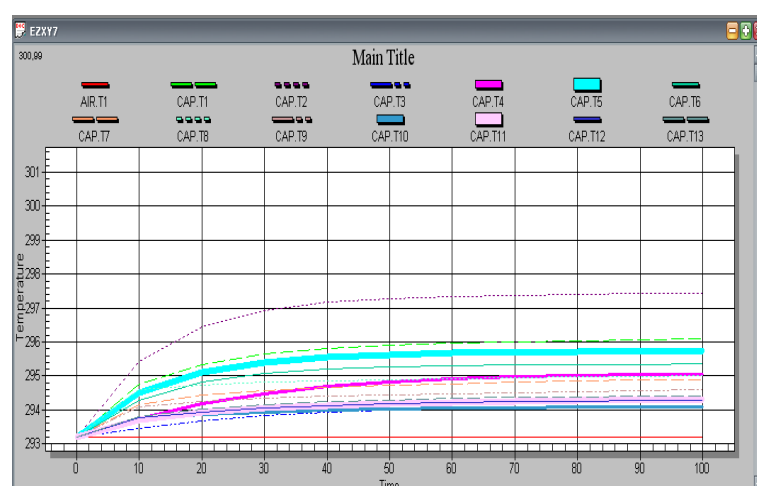
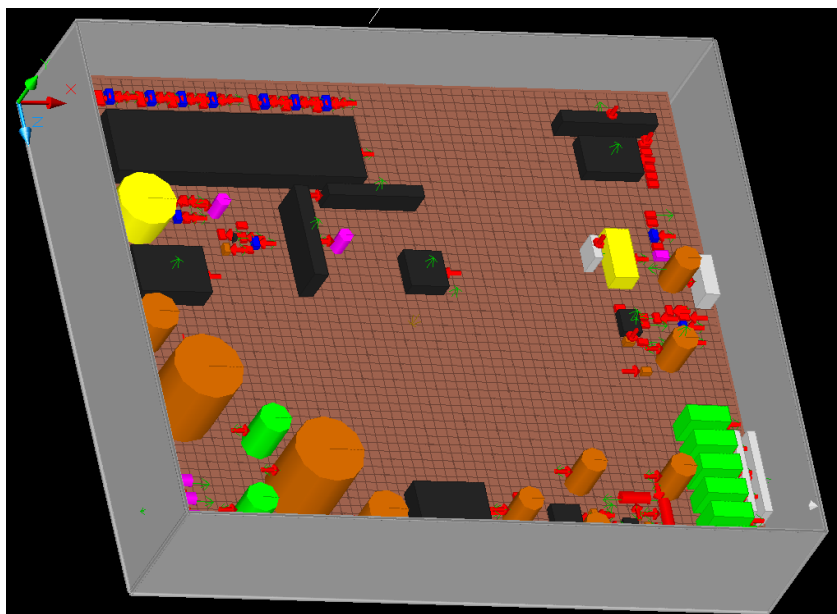


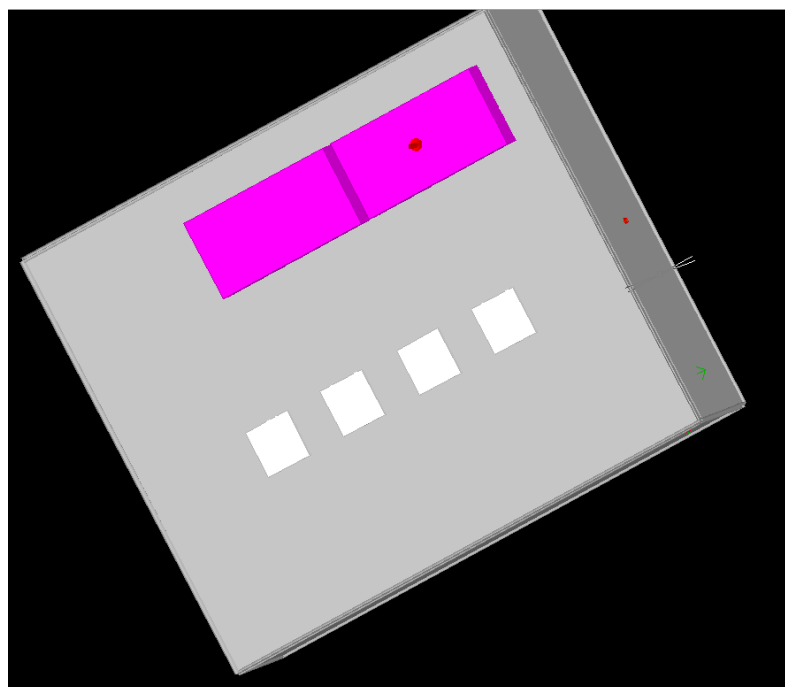
Рисунок 5.8 - Графіки залежності температури від часу з точкою обдуву для обраної елементної бази

5.4 Моделювання теплових процесів пристрою в корпусі

Результати моделювання теплових процесів пристрою в корпусі наведені на рис. 5.9 – рис. 5.12.

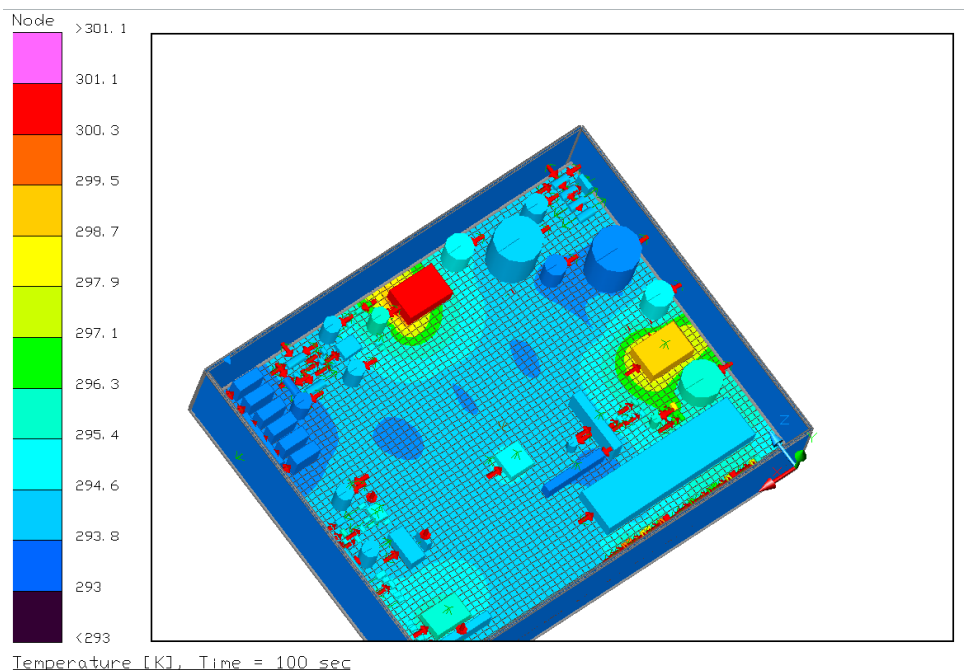


(a)

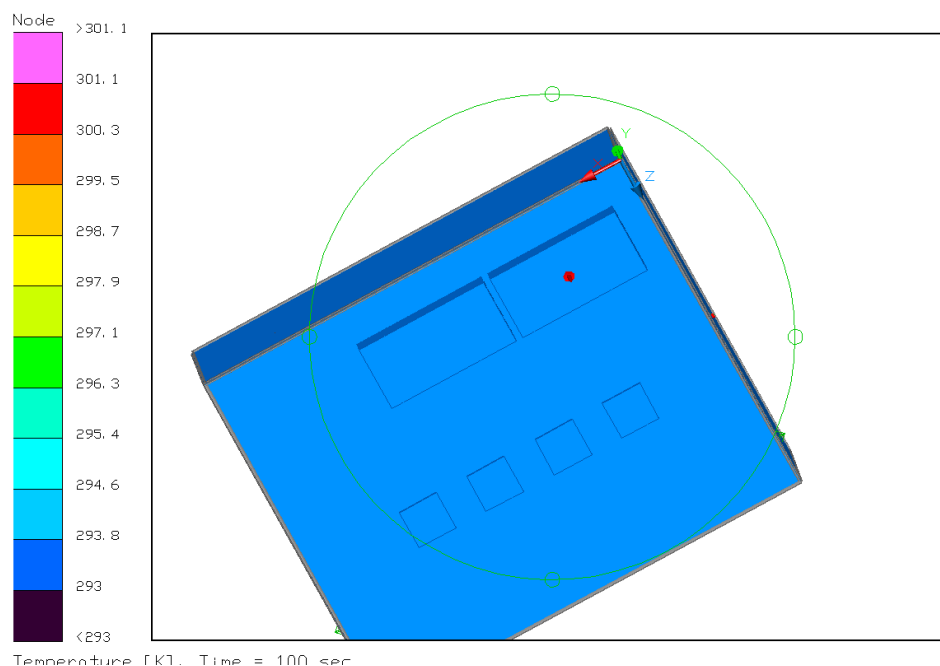


(б)

Рисунок 5.9 – Зображення плати в корпусі: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок



(a)



(б)

Рисунок 5.10 - Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок

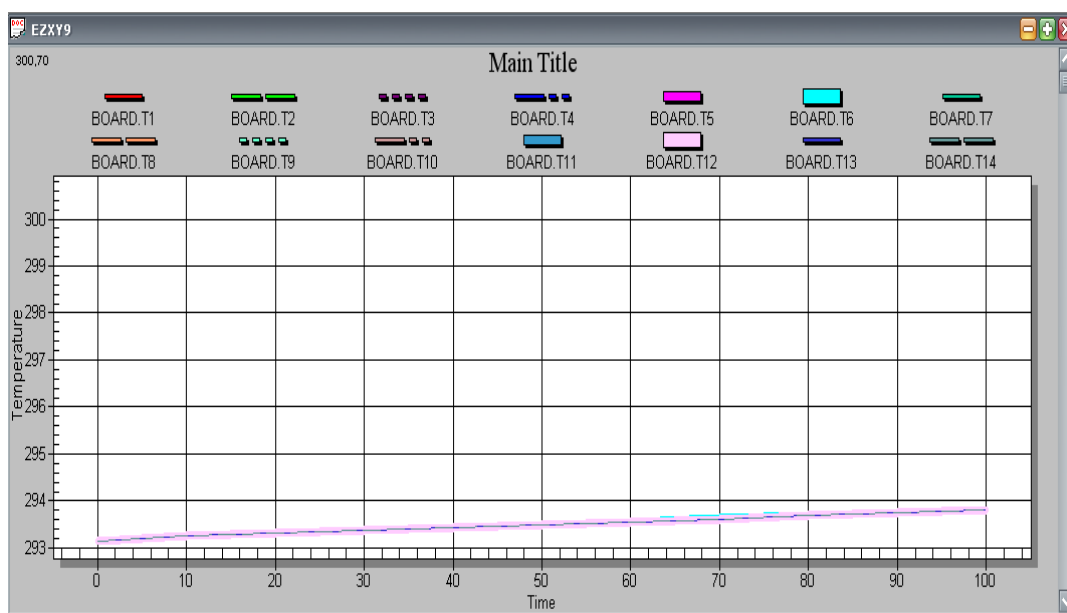


Рисунок 5.11 - Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі

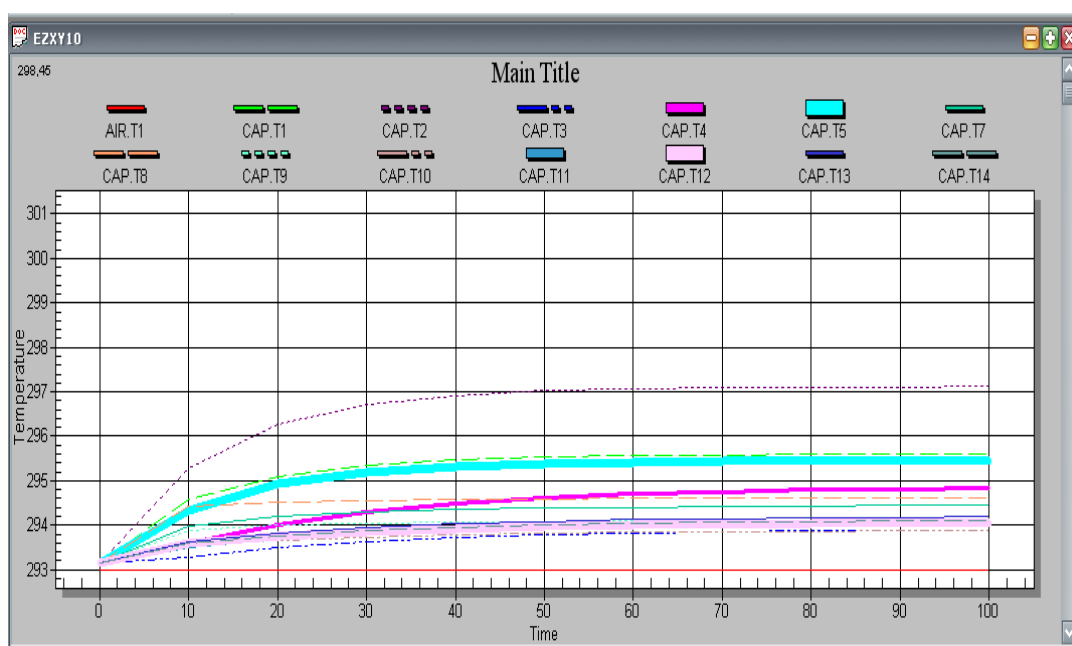


Рисунок 5.12 - Графіки залежності температури від часу для елементної бази плати в корпусі

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

6.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

На сучасному етапі розвитку електротехніки з'явилась нагальна потреба розробки пристроїв які мали б широкі можливості при незначних габаритах та вартості. Така необхідність пов'язана з високою конкуренцією на ринку електронної техніки.

Вирішення такої проблеми може бути у використанні мікропроцесорного ядра, яке оснащене відповідною програмою має замінити велику кількість елементної бази, тим самим заощадивши простір, час на розробку, а, отже, гроші.

Тому досить важливим є розробка електронних ваг з мікропроцесорним керуванням, які мають замінити менш точні механічні ваги, і більш дорогі аналоги.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [18].

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 6.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [18].

Таблиця 6.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	5	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	2	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	36	38	39
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	37,7		

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» становить 37,7 бала, що, відповідно до [18], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

Вирішення задач пов'язане з пошуком виконанням таких технічних рішень:

а) При використанні механічних ваг має місце невисока точність зважування товару, цього можна уникнути при використанні електричних ваг

точність яких визначається похибками давача та розрядністю АЦП. Зменшення перших і збільшення других приводить до підвищення точності.

б) Зовнішнє, нестійке електромагнітне середовище є досить таки великою перешкодою на шляху підвищення точності пристрою. Мобільні телефони, стартери автомобілів, мобільні радіостанції тощо, усе це є джерелом електромагнітних завад. При оцифровці за допомогою АЦП завада завдяки своєму незначному рівневі присутня лише у молодших розрядах знехтувавши якими можна підвищити завадостійкість при невеликій втраті у точності;

в) При торгівлі на відкритому повітрі має місце відсутність зовнішніх джерел живлення. У такому випадку постає задача отримання електронних ваг які будуть працювати тривалий час без увімкнення у мережу живлення. Для вирішення цієї задачі необхідно знайти рішення, яке б забезпечене низьку споживану потужність. Для цього потрібно використати рідкокристалиевий дисплей, що одразу зменшить використання енергії на порядок, також використати мікро контролер, який матиме можливість переходу у режим мікро споживання, що також значно зменшує витрати.

г) Оскільки ваги призначені для вуличної торгівлі є дуже важливим забезпечити велику стійкість до кліматичних умов, що можуть скластися під час роботи з приладом. Виконання деяких конструктивних рішень, а також використання елементної бази з широким температурним діапазоном, може бути досить добрим рішенням цієї задачі.

6.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [19]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (6.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом

і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Результати порівняння зведемо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Максимальна межа зважування	кг	15/30	100	3	0,25
Мінімальна межа зважування	г	40	20	2	0,2
Ціна поділу (похибка)	г	2..5..10	5	1	0,15
Платформа ваги	мм	220x340	350x350	0,95	0,25
Інтерфейс	-	RS232	RS-232C	1,25	0,15

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 3 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,15 + 0,95 \cdot 0,25 + 1,25 \cdot 0,15 = 1,73.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,73 рази.

6.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

6.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [18]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (6.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$З_o = 18200,00 \cdot 11 / 22 = 8500,03 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.3

Таблиця 6.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник дослідної роботи	18200,00	772,73	11	8500,03
Інженер-дослідник мікропроцесорної техніки	17000,00	750,00	22	16500,00
Консультант (інженер-метролог вищої категорії)	17000,00	681,82	5	3409,10
Технік	8500,00	386,36	15	5795,45
Всього				34204,58

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (6.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (6.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення (табл. Б.2, додаток Б) [18];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_I = 8000,00 \cdot 1,70 \cdot 1,15 / (22 \cdot 8) = 88,86 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pI} = 88,86 \cdot 2,00 = 177,73 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 6.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Контроль вхідних матеріалів	2,00	5	1,70	88,86	177,73
Підготовка робочого місця розробника для проведення розробки і дослідження	7,50	2	1,10	57,50	431,25
Підготовка компонентів мікроелектронного пристрою	4,30	4	1,50	78,41	337,16
Монтаж компонентів мікроелектронного пристрою	8,00	4	1,50	78,41	627,27
Налагодження мікроелектронного блоку	3,00	5	1,70	88,86	266,59
Формування бази даних розробки і дослідження	12,50	3	1,35	70,57	882,10
Налагодження програмних засобів проектування	2,50	5	1,70	88,86	222,16
Монтаж обладнання виведення результатів дослідження	1,35	3	1,35	70,57	95,27
Контроль протікання експерименту	6,50	4	1,50	78,41	509,66
Всього					3549,19

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$З_{доо} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{доо}}{100\%}, \quad (6.5)$$

де $H_{доо}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$З_{доо} = (34204,58 + 3549,19) \cdot 11 / 100\% = 4152,91 \text{ (грн.)}.$$

6.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$З_n = (З_o + З_p + З_{доо}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (6.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$З_n = (34204,58 + 3549,19 + 4152,91) \cdot 22 / 100\% = 9219,47 \text{ (грн.)}.$$

6.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot Ц_{ej}, \quad (6.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$Ц_{ej}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 2,0 \cdot 211,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 464,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів (грн/кг.)	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
Офісний папір Maestro standard Plus A4-500-80	211,00	2,0	0	0	464,20
Папір для записів Maestro standard Light A5	83,00	4,0	0	0	365,20
Органайзер офісний Maestro standard Office	124,00	3,0	0	0	409,20
Канцелярське приладдя Maestro standard (набір офісного працівника)	201,50	3,0	0	0	664,95
Картридж для принтера HP laserJet	2168,00	1,0	0	0	2384,80
Диск оптичний Maestro standard CD-RW	20,50	4,0	0	0	85,25
Flesh-пам'ять Maestro standard 64 GB	189,90	1,0	0	0	208,89
Тека для паперів Maestro standard BOX	75,00	4,0	0	0	330,00
Склотекстоліт СФ-2-35-1,5	211,00	0,100	0	0	23,21
Припой ПОС-61	482,00	0,010	0	0	5,30
Флюс	210,00	0,020	0	0	4,62
Ізольований провідник	12,50	0,100	0	0	1,38
Бензосуміш	38,40	0,100	0,000	0,00	4,22
Лак	320,00	0,050	0,000	0,00	17,60
Провід монтажний	6,15	0,100	0,000	0,00	0,68
Всього					4969,50

6.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (6.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$K_e = 38 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 52,25$ (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Резистор C2-29-0,125+SMD	38	1,25	52,25
Конденсатор K53-16A	9	8,40	83,16
Конденсатор SMD 0805	19	1,10	22,99
Транзистор SOT23	10	10,00	110,00
Кварц РК-72 10 МГц+16МГц	2	11,40	25,08
Мікросхема ATtiny2313	1	185,00	203,50
Мікросхема MC 7805	2	35,00	77,00
Мікросхема AD7582AR	1	48,00	52,80
Мікросхема MAX 809LD	1	36,00	39,60
Мікросхема ADS 1241U	1	240,00	264,00
Мікросхема ADM 485AP	1	86,00	94,60
Мікросхема ULN 2803A	2	34,00	74,80
Мікросхема HP 1-4-9	3	8,20	27,06
Мікросхема BT-T512RD	2	24,50	53,90
Перемикач К-4-1	9	12,00	118,80
Роз'єм X1-X7	7	19,00	146,30
Саморізи+болти, шайби	0,3	160,00	52,80
Корпус + платформа	1	650,00	715,00
Тензодатчик	1	1820,00	2002,00
Блок живлення	1	78,00	85,80
Всього			4301,44

6.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{спеу} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{np.i} \cdot K_i, \quad (6.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спеу} = 9460,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10406,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Осцилограф цифровий	1	9460,00	10406,00
Вольтметр	1	4200,00	4620,00
Генератор сигналу цифровий	1	8340,00	9174,00
Всього			24200,00

6.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (6.10)$$

де C_{inpz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{\text{прг.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прг}} = 42,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 46,20 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
AVR Studio	1	42,00	46,20
Доступ до мережі Internet (високошвидкісний) грн/місяць	1	350,00	385,00
Code Vision AVR	1	42,00	46,20
Всього			477,40

6.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{с}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (6.11)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{\text{с}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (54200,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1505,56 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Електронно-обчислювальний комплекс розробника	54200,00	3	1	1505,56
Робоче місце розробника мікроелектронного пристрою	8950,00	5	1	149,17
Осцилограф цифровий	9933,00	5	1	165,55
Генератор сигналу цифровий	8757,00	7	1	104,25
Блок живлення лабораторний	6700,00	7	1	79,76
Радіомонтажне обладнання	6500,00	5	1	108,33
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання Cadence IC Design Virtuoso 06.17.702.	7791,00	3	1	216,42
Офісне програмне забезпечення (Windows, Microsoft Office)	8250,00	3	1	229,17
Лабораторія досліджень	386000,00	30	1	1072,22
Оргтехніка	11350,00	5	1	189,17
Всього				3819,59

6.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (6.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 562,18 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Електронно-обчислювальний комплекс розробника	0,32	160,0	562,18
Робоче місце розробника мікроелектронного пристрою передачі даних метеозонда	0,15	160,0	263,52
Осцилограф цифровий	0,10	100,0	109,80
Генератор сигналу цифровий	0,10	50,0	54,90
Блок живлення лабораторний	0,25	100,0	274,50
Радіомонтажне обладнання	0,34	15,0	56,00
Оргтехніка	0,75	8,0	65,88
Вольтметр	0,05	50,0	27,45
Всього			1414,22

6.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

6.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею відсутні.

6.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{o}} + Z_{\text{p}}) \cdot \frac{H_{\text{ів}}}{100\%}, \quad (6.13)$$

де $H_{\text{ів}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{ів}} = 50\%$.

$$I_{\text{с}} = (34204,58 + 3549,19) \cdot 50 / 100\% = 18876,89 \text{ (грн.)}.$$

6.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{\text{нзв}} = (Z_{\text{o}} + Z_{\text{p}}) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (6.14)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 100\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (34204,58 + 3549,19) \cdot 100 / 100\% = 37753,77 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_{в} + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{в} + B_{нзб}. \quad (6.15)$$

$$B_{заг} = 34204,58 + 3549,19 + 4152,91 + 9219,47 + 4969,50 + 4301,44 + 24200,00 + 477,40 + 3819,59 + 1414,22 + 0,00 + 0,00 + 18876,89 + 37753,77 = 146938,97 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (6.16)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ZB = 146938,97 / 0,9 = 163265,52 \text{ (грн.)}.$$

6.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	550	1050	1250	1100

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 11500 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 8200,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo (-255,00) (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [18]

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - \frac{g}{100}), \quad (6.17)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 37\%$;

g – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $g = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta \Pi_1 = (-255,00 \cdot 11500,00 + 7945,00 \cdot 550) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 361931,17 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta \Pi_2 = (-255,00 \cdot 11500,00 + 7945,00 \cdot 1600) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2462693,25 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta \Pi_3 = (-255,00 \cdot 11500,00 + 7945,00 \cdot 2850) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4963600,49 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (-255,00 \cdot 11500,00 + 7945,00 \cdot 3950) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 7164398,86 \text{ (грн.)}.$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (6.18)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= 361931,17/(1+0,15)^1 + 2462693,25/(1+0,15)^2 + 4963600,49/(1+0,15)^3 + \\ &+ 7164398,86/(1+0,15)^4 = 314722,76 + 1862149,90 + 3263647,89 + 4096268,30 = \\ &= 9536788,85 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (6.19)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 163265,52 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot ЗВ = 2 \cdot 163265,52 = 326531,04 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (6.20)$$

де $ПП$ – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 9536788,85 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 326531,04 (грн.).

$$E_{абс} = ПП - PV = 9536788,85 - 326531,04 = 9210257,81 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки [19]

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (6.21)$$

де $E_{абс}$ – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 9210257,81 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 326531,04 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 9210257,81/326531,04)^{1/4} = 1,32.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій $\tau_{\min}$

$$\tau_{\min} = d + f, \quad (6.22)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,35.

$\tau_{\min} = 0,11 + 0,35 = 0,46 < 1,32$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (6.23)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,32 = 0,75 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

6.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням»

становить 37,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,73 рази.

Також термін окупності становить 0,75 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням».

ВИСНОВКИ

Тензометричні електронні ваги є незамінним інструментом у широкому спектрі галузей, від промисловості до побуту. Завдяки своїй точності, швидкості та різноманітності функцій, вони знайшли широке застосування.

Основою роботи тензометричних ваг є тензодатчик, який перетворює механічну деформацію в електричний сигнал. Цей сигнал обробляється електронною схемою і відображається на дисплеї як значення маси. Тензометричні ваги відрізняються високою точністю, швидкістю вимірювання, широким діапазоном зважування, компактністю та зручністю використання. Ваги використовуються в промисловості, торгівлі, наукових дослідженнях, медицині та побуті.

Сучасні дослідження спрямовані на підвищення точності, мініатюризацію, розширення функціональності та інтеграцію ваг з іншими системами. Перспективними напрямками розвитку є застосування нових матеріалів, таких як наноматеріали, інтеграція з мікроелектромеханічними системами (MEMS), використання бездротових технологій та штучного інтелекту.

У ході виконання даної магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено електронні ваги з мікропроцесорним керуванням. Робота ваг базується на перетворенні аналогового рівня напруги, що йде від тензометричного датчика у цифровий код з подальшим переведенням отриманого коду у десяткове числове значення ваги.

У порівнянні з аналогічними пристроями, даний пристрій є більш економічним і дешевшим за рахунок використання дельта-сигма АЦП.

При розробці структурної схеми, кожна структурна одиниця обиралась з декількох варіантів, що дало можливість вибрати найкращий варіант їх реалізації. Структурна схема розроблялась з врахуванням того, щоб її елементи були максимально прості та уніфіковані. При виборі схемних реалізацій елементів структурної схеми було розглянуто декілька способів реалізації

заданих функцій і вибрано схемні рішення, які дають змогу реалізувати необхідні задачі, і при цьому є порівняно простими у виконанні.

Графічний матеріал виконаний в схемному редакторі P-CAD 2006. У конструкторській частині були розраховані габаритні розміри друкованої плати (130x107,5), розроблена топологія та висвітлені питання технологічного виготовлення друкованої плати. Проведений тепловий розрахунок та розрахунок надійності пристрою (інтенсивність відмов складає $124,6 \cdot 10^{-6}$ год). Був розроблений корпус для пристрою, який складається з двох частин.

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням» становить 37,7 бала, а термін окупності становить 0,75 роки. Це свідчить про комерційну важливість даної розробки.

Загалом, тензометричні електронні ваги на сучасному етапі є приладами що динамічно розвиваються і які відіграють важливу роль у сучасному світі. Подальші дослідження та розробки в цій галузі дозволять створювати ще більш точні, надійні та функціональні прилади для вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильєв, О. М. Основи тензометрії: навчальний посібник. Київ: Видавництво Київського політехнічного інституту, 2019. 243 с.
2. Іваненко, П. В., Ковальчук, Л. М. Цифрові вимірювальні прилади: теорія та практика. Харків: Технічний університет, 2020. 115 с.
3. Жуков, С. В. Електронні вимірювальні системи та їх застосування. Львів: Технічна книга, 2018. 224 с.
4. Добровольський, М. О. Сенсори і вимірювальні перетворювачі у промисловості. Київ: Центр наукової літератури, 2017. 110 с.
5. Пилипенко, І. В. Теорія і практика тензометрії. Одеса: Одеський державний технічний університет, 2021. 84 с.
6. Шевченко, Н. Ю., Бойко, В. С. Сучасні цифрові системи вимірювання. Дніпро: Видавничий дім "Технологія", 2022. 57 с.
7. Горшков, Ю. П., Лисенко, А. О. Автоматизація вимірювальних процесів у тензометричних системах. Харків: НТУ "ХПІ", 2019. 28 с.
8. Zhang, W., Lee, C. "Advances in Load Cell Technology for Industrial Weighing Applications." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2021.
9. Smith, J., Green, T. Digital Weighing Systems and Their Applications. New York: Academic Press, 2020.
10. Chen, M., Yu, D. "Temperature Compensation Techniques in Digital Strain Gauges." Journal of Sensors and Actuators, 2018.
11. Автомобільні ваги AS Dynamic and Static Portable Axle Weighing Platform [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
12. https://www.esit.com.tr/en/truck_scales_weighbridges/_as_dynamic_and_static_portable_axle_weighing_platform/urun/279.
13. Автомобільні ваги ESIT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.avtoves.ua/ukr/about/partners/Esit/>.

14. Автомобільні ваги серії ТВА ... D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://technowagy.com.ua/products/vesyavtomobilnye-dinamicheskie/>.
15. Автомобільні ваги ТВА-20D «Динамічні» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
16. <https://www.avtoves.ua/ukr/catalog/avtomobilnyyevesy/product.html?id=4602>.
17. Автомобільні ваги ТОВ «Київський ваговий завод» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kvz.in.ua/>.
18. Берестов. П.С. Ваговимірювальне обладнання в складській логістиці. Берестов. П.С. - М.: Справа, 2004. - 134 с.
19. Вагове обладнання. Загальні відомості [Електронний ресурс]. Асвік Центр.
20. Tutak P. Application of strain gauges in measurements of strain distribution
21. in complex objects// JACSM. IT Institute, University of Social Sciences. – 2014. V. 2, №6. P. 135–145.
22. Ghimbaseanu I. Experimental research study on the use of a resistive tensometric// International Scientific Journal: Machines. Technologies. Materials. - Transilvania University of Brasov, Romania. - 2015. V. 1, №9. P. 44–47.
23. Фідровська Н. М., Пономаренко Р. В., Слепужніков Є. Д., Козодой Д. С. Обґрунтування проведення тарировки тензорезисторів у комплексі з вимірювальним обладнанням // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – УкрДУЗТ. – 2020. – №194. С. 75-83.
24. Pastor M., Carak P., Gomory I. The assessment of the residual stresses influence on generation of the infringement in shape-complex supporting members // Journal of Mechanical Engineering. - Technical University of Košice. - 2019. №69. P. 85–96.
25. Code Vision AVR. - <http://cxem.net/software/codevisionavr.php>

26. ATMEGA8535 Datasheet. - http://html.alldatasheet.com/htmlpdf164169/ATMEL_ATMEGA8535_153_1/ATMEGA8535.html

27. Datasheet Тензометрический датчик PC7 ULN2004A [Електронний ресурс]. URL: https://www.flintec.com/wp-content/uploads/2016/09/A221-Rev0-RU_PC7_Data_Sheet.pdf.

28. Datasheet HX711 [Електронний ресурс]. URL: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf.

29. <https://hi-news.pp.ua/tehnika-tehnologyi/10814-tenzometrichniydatchikvidi-princip-roboti-pristry.html> Тензометричний датчик: види, принцип роботи і пристрій. Дата доступу 01.11.2023

30. <https://samelectryk.in.ua/електрообладнання/реле,-контактори,-датчики/451-що-таке-тензодатчик-і-як-він-працює.html> Що таке тензодатчик і як він працює. Дата доступу 01.11.2023

31. <https://www.continuummechanics.org/straingauges.html> Straingauges. Дата доступу 01.11.2023

32. <https://www.omega.com/enus/resources/wheatstonebridge> Wheatstonebridge forstraingages. Дата доступу 01.11.2023 33

33. <https://slv.thehouseofchronic.com/4278263-strain-gaugesdescriptioninstructions-for-use-specifications-and-reviews> Merilnilisti: opis, navodilazauporabo, tehničnekarakteristikeinocena. Дата доступу 01.11.2023

34. Fidrovsk N., Slepuzhnikov E., Varchenko I. Preparation of tensoresistors and measuring equipment for experimental research // Norwegian Journal of development of the International Science. - Technical Sciences. 2020. -V. 1, № 45. P. 69–72.

35. Слепужніков Є. Д., Варченко І. С., Фідровська Н. М. Проведення експериментальних досліджень методом тензометрії /Наукове забезпечення технологічного процесу 21 сторіччя. – Чернівці, 2020. - С. 85–86.

36. Режим доступу до ресурсу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/4>.

37. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

38. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

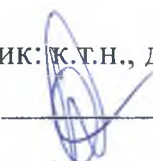
ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ЕЛЕКТРОННІ ВАГИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-23м
спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Биков В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри ІРТС


Дудатьєв І.А.
(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд тензодатчика

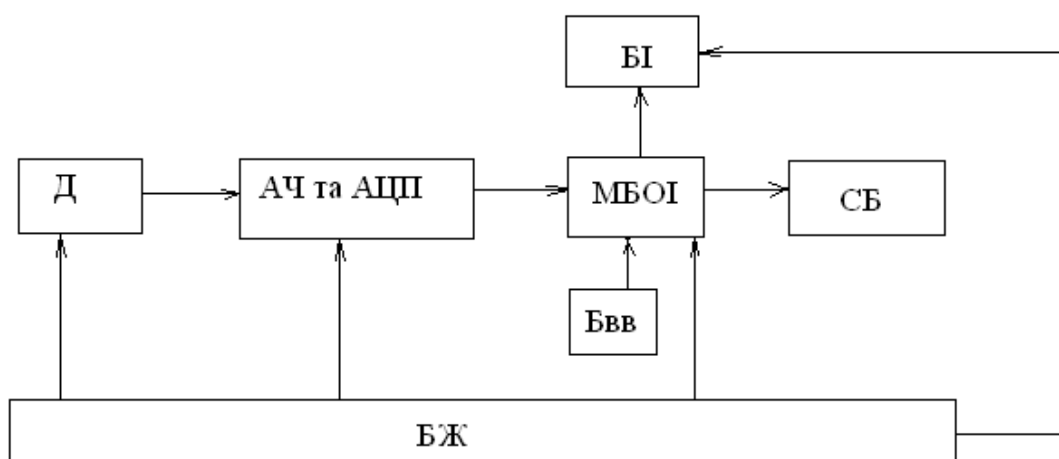


Рисунок 2 – Структурна схема тензометричних електронних ваг із мікропроцесорним керуванням

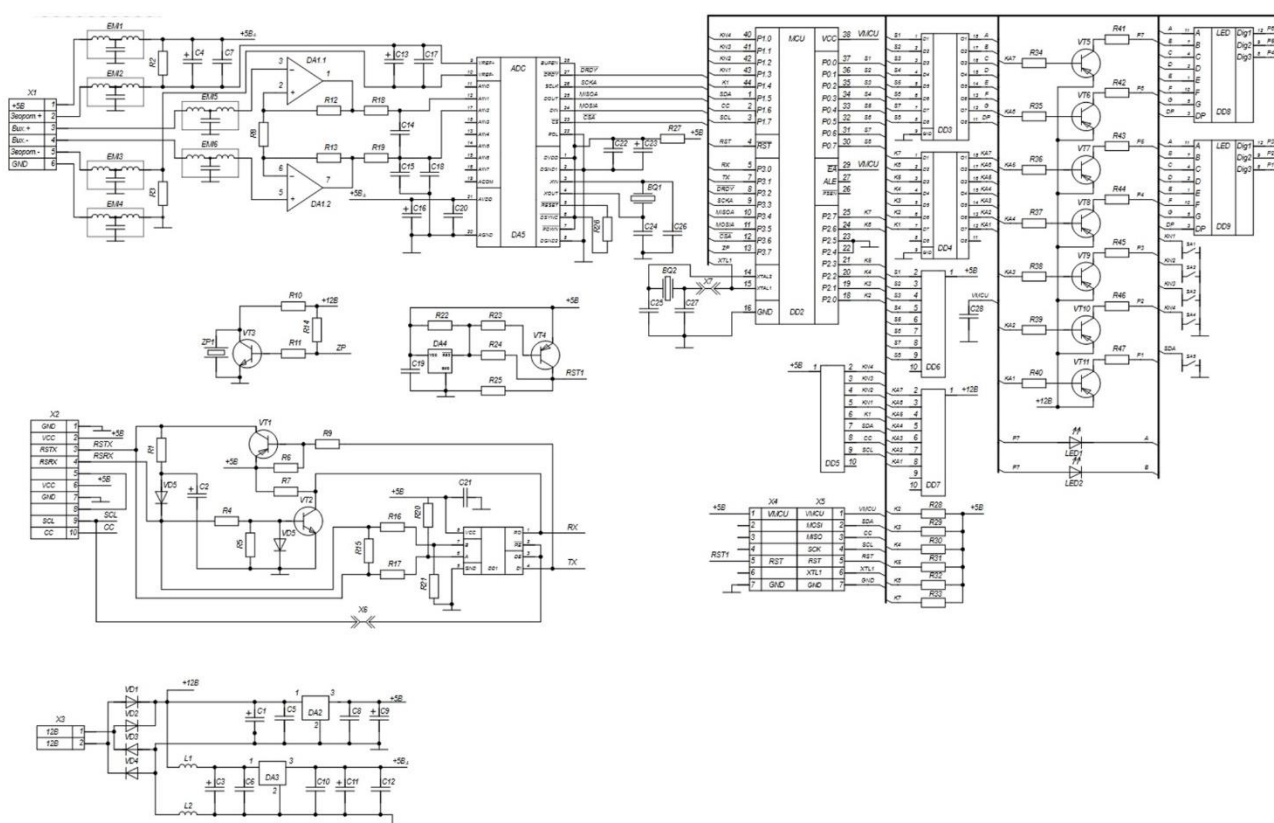


Рисунок 3 – Електрична схема тензометричних електронних ваг із мікропроцесорним керуванням

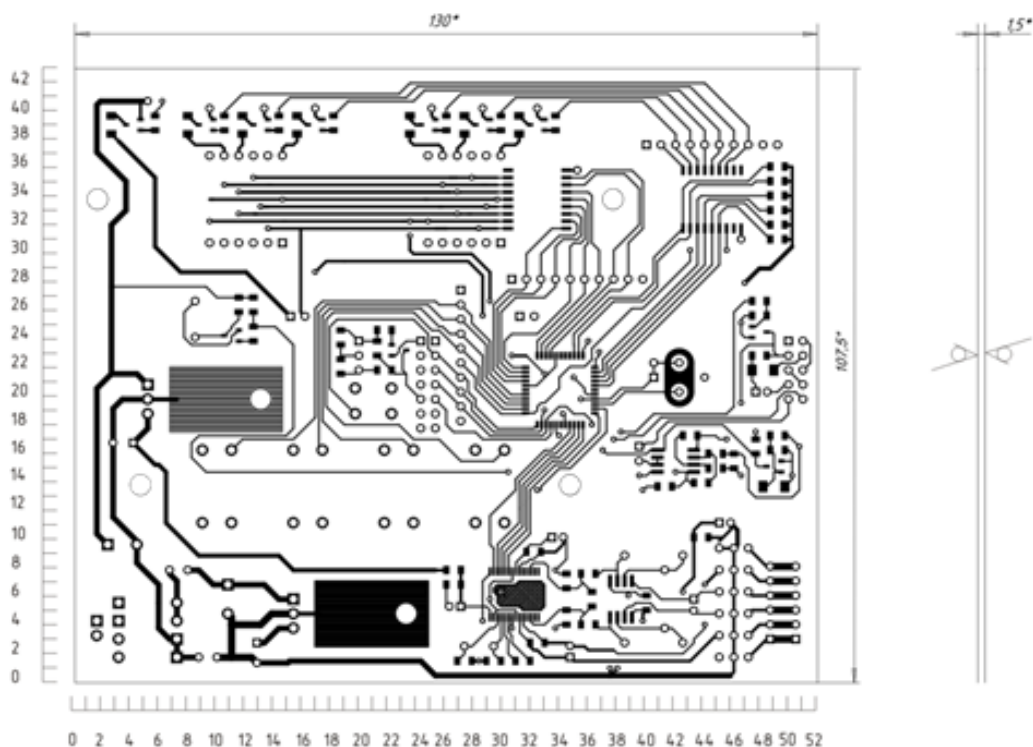


Рисунок 4 – Топологія друкованої плати (вигляд згори)

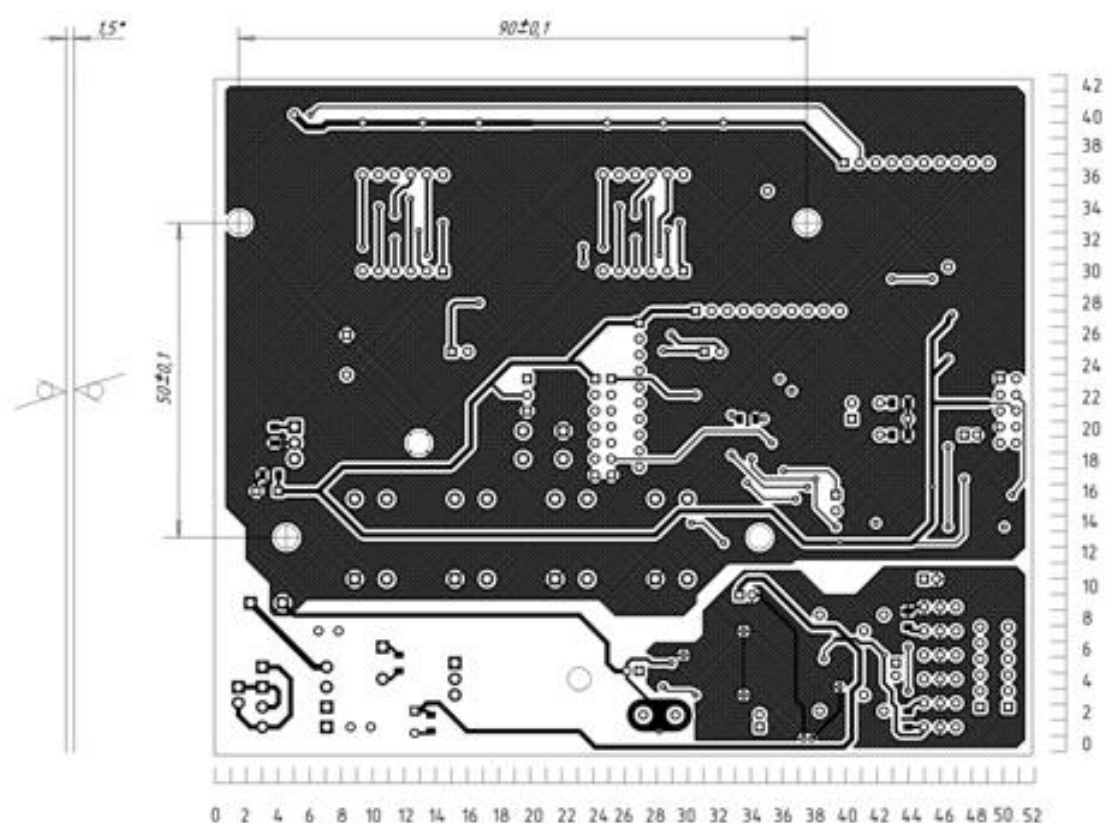


Рисунок 5 – Топологія друкованої плати (вигляд знизу)

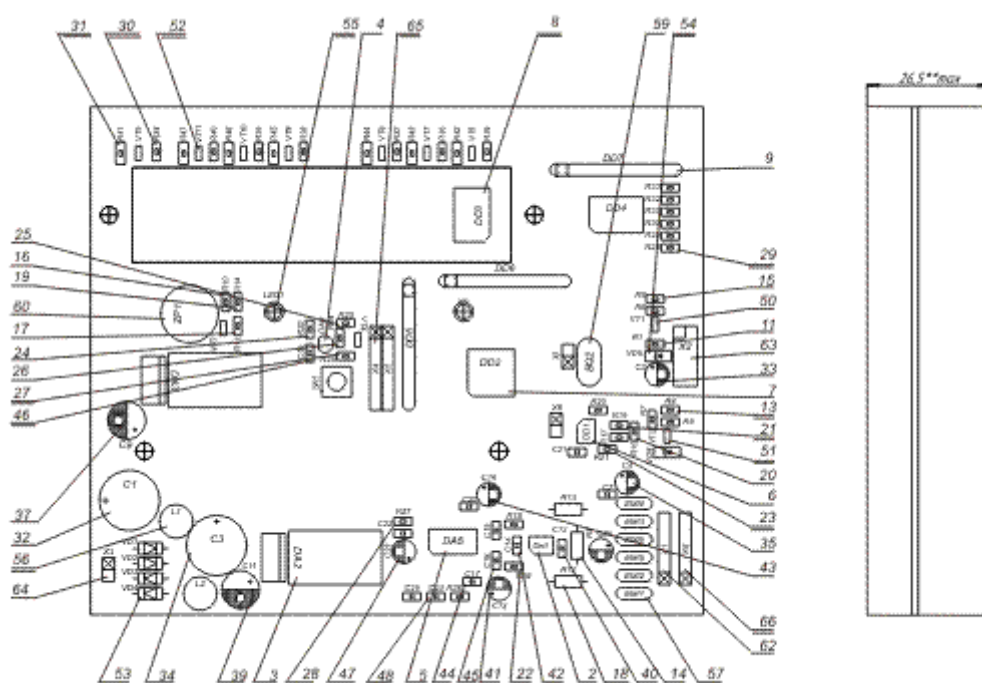


Рисунок 6 – Ескізне креслення встановлення елементів на друкованій платі

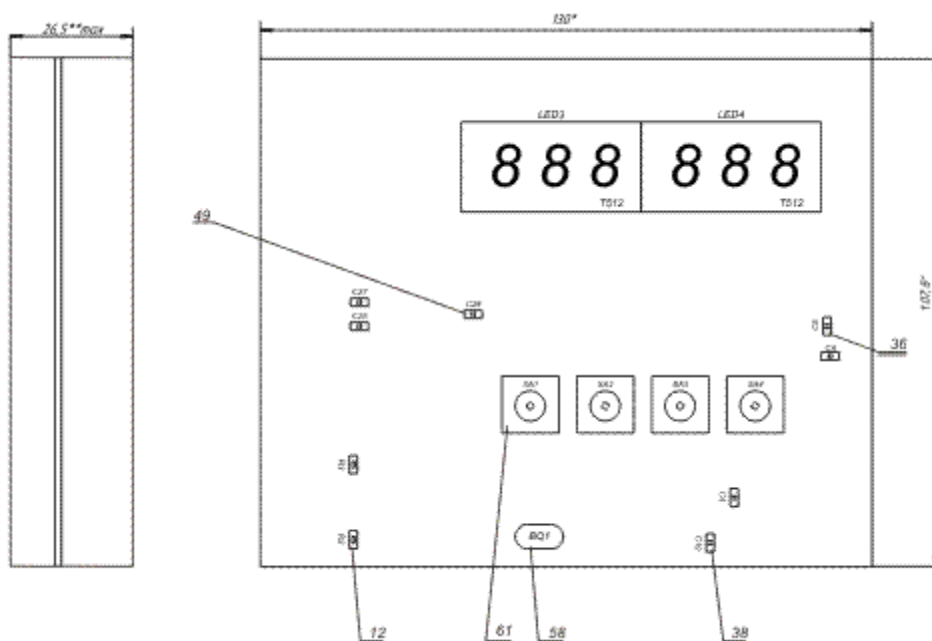


Рисунок 7 – Ескізне креслення встановлення індикатора та клавіш керування

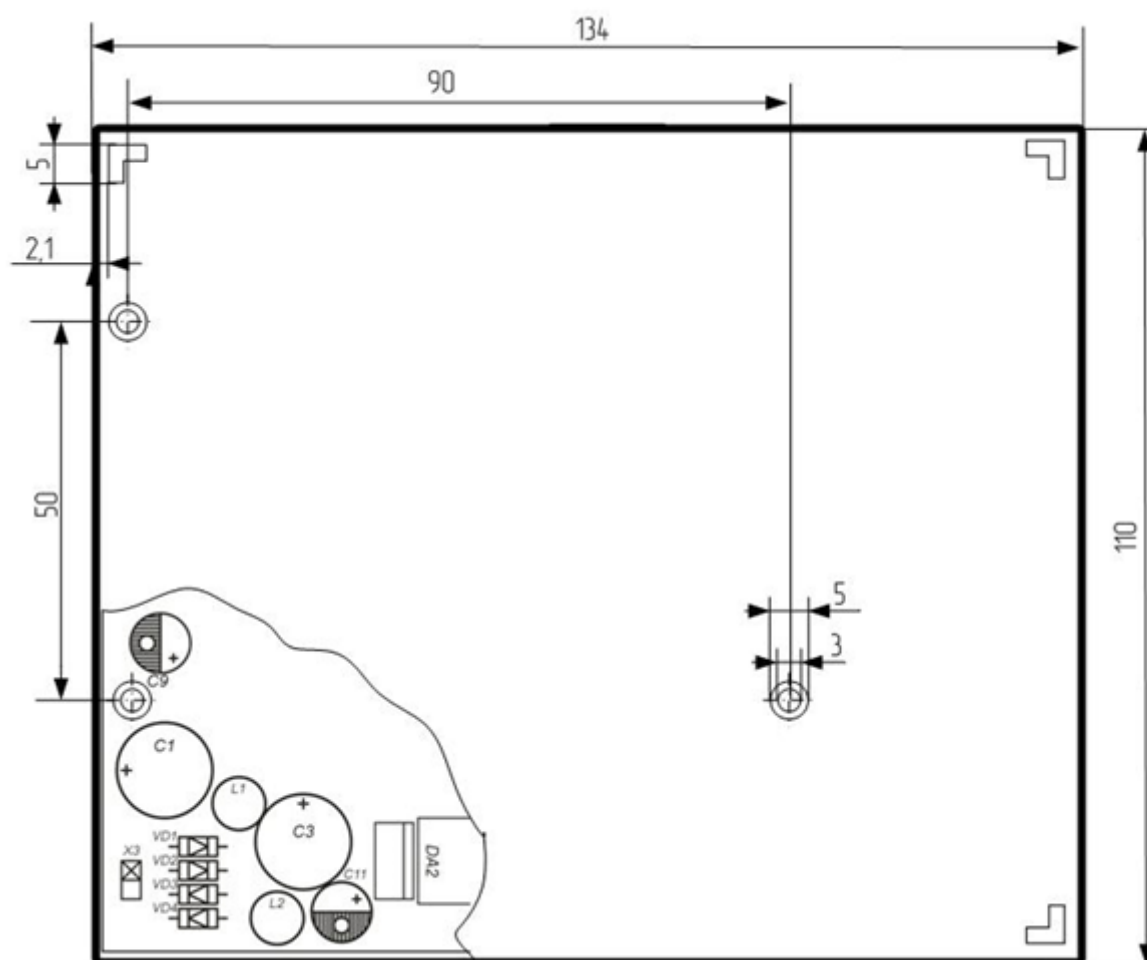


Рисунок 8 – Ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд ззаду)

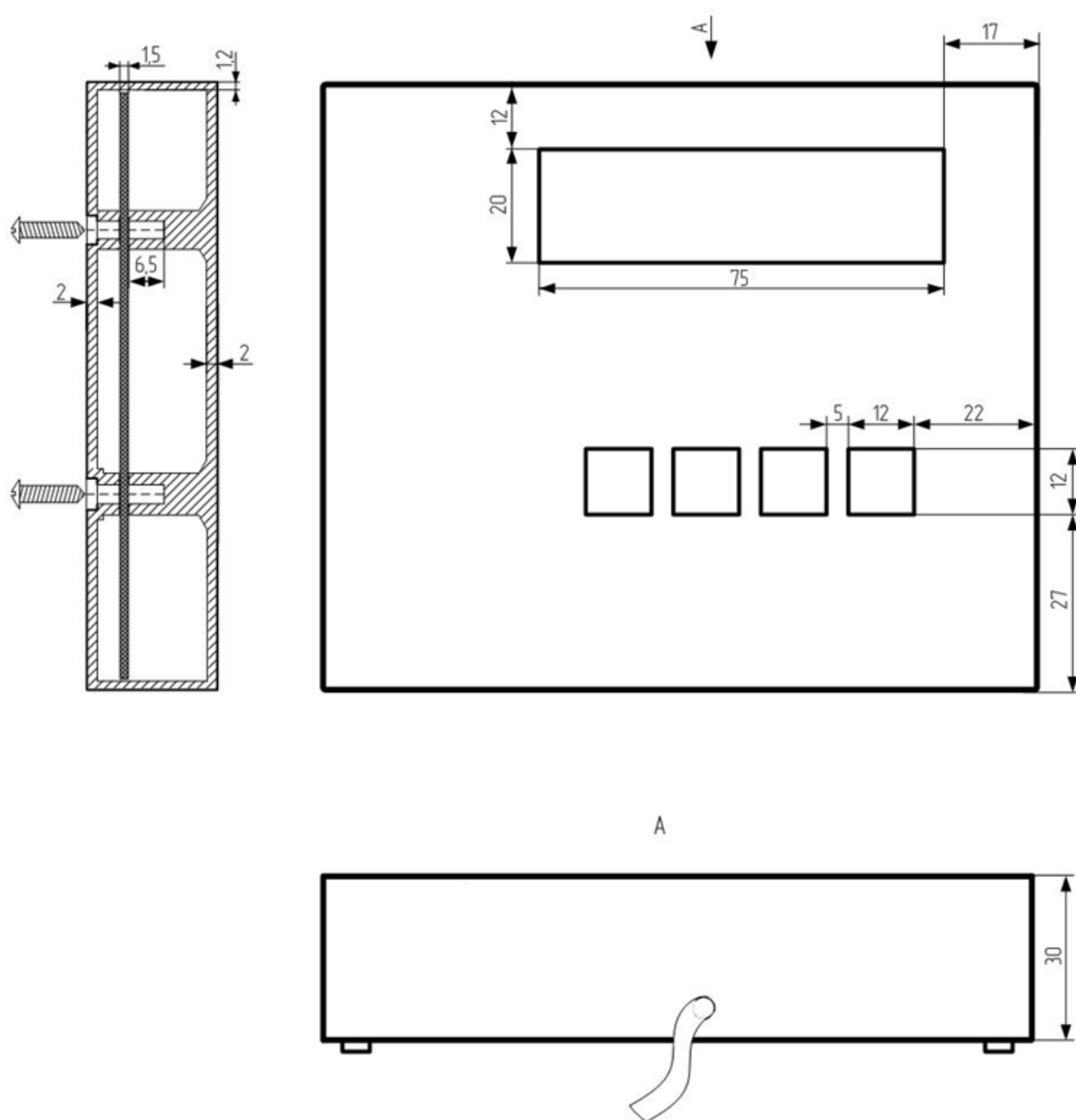
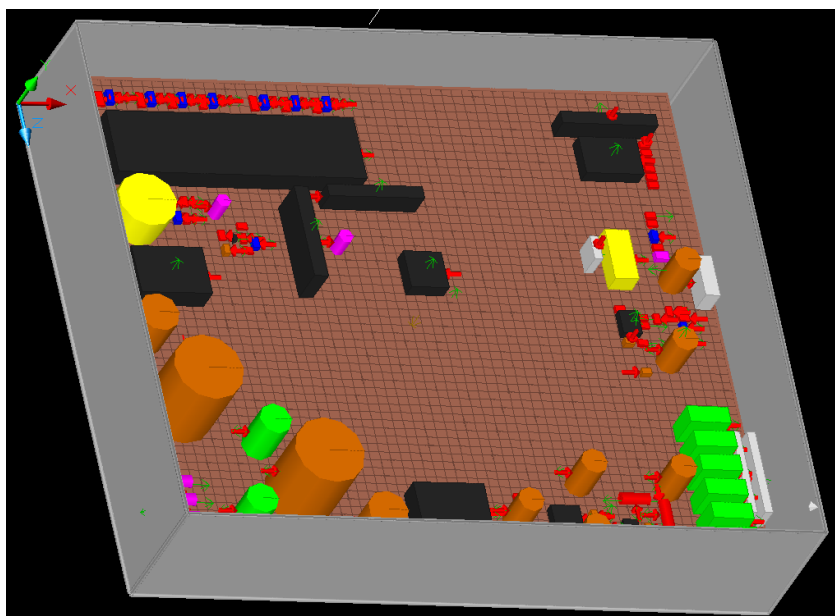
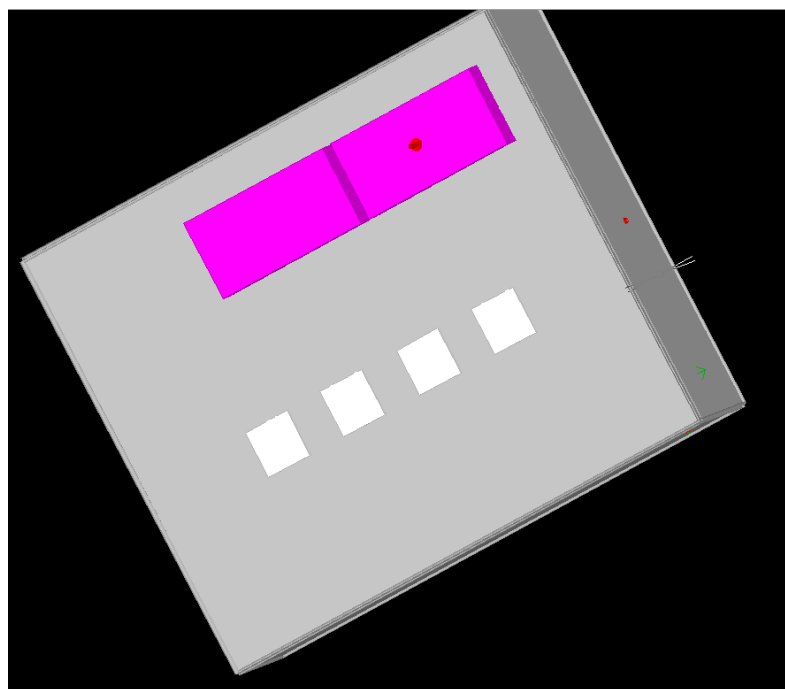


Рисунок 9 – Ескізне креслення корпусу електронних ваг (вигляд спереду та збоку)

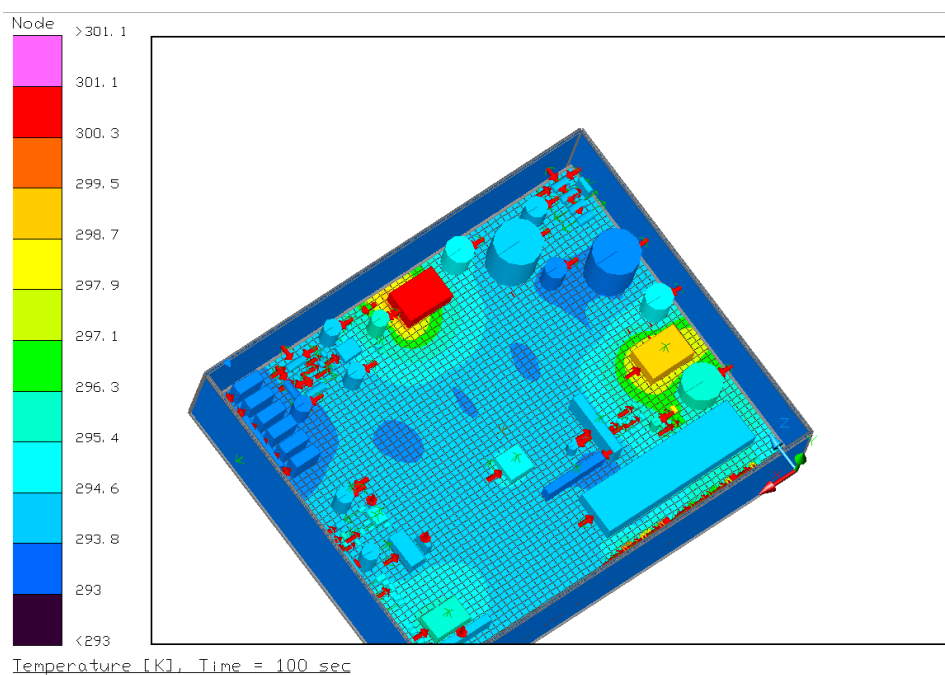


(a)

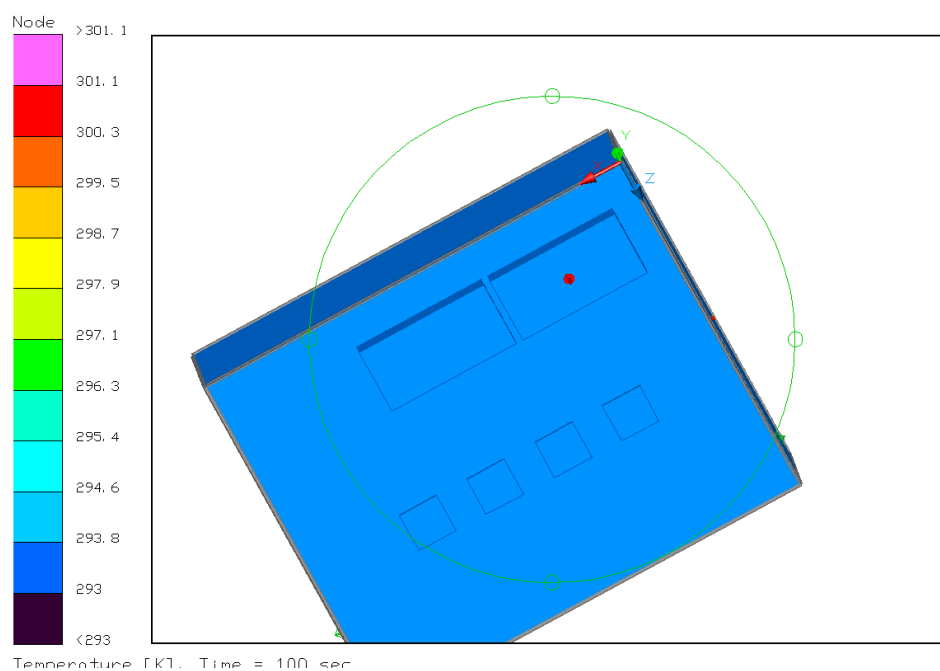


(б)

Рисунок 10 – Зображення плати в корпусі: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок



(a)



(б)

Рисунок 11 - Зміна температурного тону пристрою під час його нагрівання в динамічному режимі: (а) плати зі сторони розташування радіоелементів; (б) плати зі сторони розташування індикаторів і кнопок

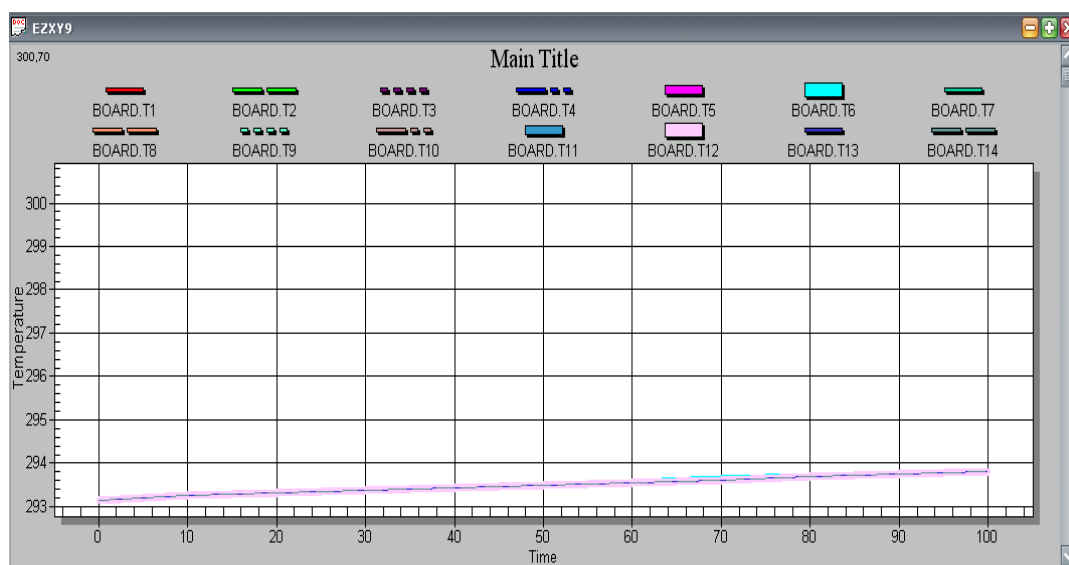


Рисунок 12 - Графіки залежності температури від часу для плати в корпусі

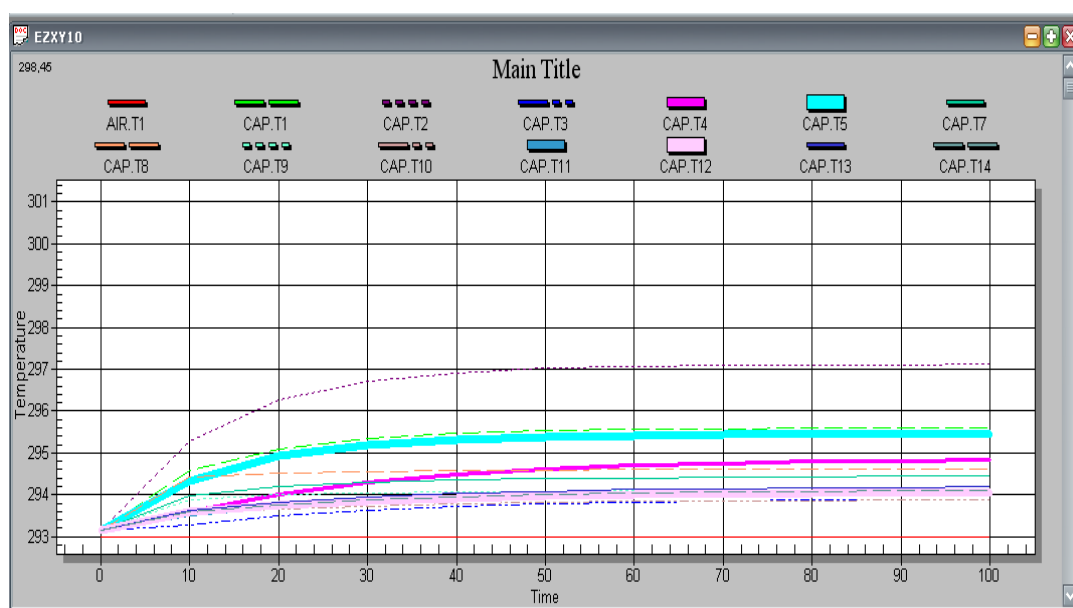


Рисунок 13 - Графіки залежності температури від часу для обраної елементної бази плати в корпусі



Рисунок 14 – Експериментальний макет тензометричних електронних ваг із мікропроцесорним керуванням

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**ТЕНЗОМЕТРИЧНІ ЕЛЕКТРОННІ ВАГИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ
КЕРУВАННЯМ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Тензометричні електронні ваги з мікропроцесорним керуванням»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 83,0% Схожість 17,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Вячеслав БИКОВ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ігор ДУДАТЬЄВ
(прізвище, ініціали)