

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: **Комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань
опору електронних блоків**

Виконав студент 2 курсу, групи ІВТК-4
спеціальності 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»

Карчевський Роман Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор

зав. кафедри ІВТ Подчашинський Юрій

Олександрович

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальності 175 Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій

д.т.н., проф.

Подчашинський Ю.О.

“ 4 ” квітня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Карчевському Роману Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань опору керівник роботи д.т.н., професор зав. кафедри Інформаційно-вимірювальних технологій Подчашинський Юрій Олександрович

затверджені наказом закладу вищої освіти від “4” квітня 2025 року № № 132/с

2. Строк подання студентом роботи “ 11 ” червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи комп'ютеризована система повинна забезпечити вимірювання опору елементів схеми, вмикання/вимикання системи, живлення системи, вивід виміряних значень опору елементів схеми на індикатор, похибка вимірювання опору повинна складати 0,5%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технічне завдання, огляд та аналіз існуючих систем вимірювання опору елементів, розробка структурної та принципової схем, розробка програми та блок-схеми алгоритму, розробка друкованої плати, розрахунок точності системи.

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

Структурна схема, принципова схема, блок-схема алгоритму та друкована плата

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3,4	проф, дтн, зав. кафедри ІВТ Ю.О. Подчашинський		
5,6,7,8	проф, дтн, зав. кафедри ІВТ Ю.О. Подчашинський		

7. Дата видачі завдання 4.04.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Опис технічного завдання	05.05.2025– 15.05.2025	
2.	Аналіз існуючих сучасних комп'ютерезованих систем вимірювань опору	20.05.2025 – 24.05.2025	
3.	Розробка структурної комп'ютерезованих систем внутрішньосхемних вимірювань опору	25.05.2025 – 26.05.2025	
4.	Розробка принципової схеми комп'ютерезованих систем внутрішньосхемних вимірювань опору	27.05.2025 – 29.05.2025	
5.	Обґрунтування та вибір складових комп'ютерезованих систем внутрішньосхемних вимірювань опору	30.05.2025 – 1.06.2025	
6.	Розробка друкованої плати комп'ютерезованих систем внутрішньосхемних вимірювань опору	2.06.2022 – 6.06.2025	
7.	Розробка блок-схеми алгоритму та програми	07.06.2025- 08.06.2025	
8.	Розрахунок надійності та точності	09.06.2025	
9.	Оформлення пояснювальної записки та презентації	10.06.2025 - 11.06.2025	

Студент _____
(підпис)

Р.С. Карчевський
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ю.О. Подчашинський
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена створенню комп'ютеризованої системи для внутрішньосхемного вимірювання опору електронних блоків.

У процесі дослідження було проаналізовано існуючі рішення в цій галузі. Розроблено структурну та принципову електричну схему системи. Центральним керуючим елементом виступає мікроконтролер PIC16F690. Також створено блок-схему алгоритму функціонування та програмне забезпечення вимірювальної системи.

Було спроектовано друковану плату. Пристрій забезпечує можливість вимірювання опору та виявлення короткозамкнених ділянок у схемах електронних блоків радіоелектронної апаратури. Проведено оцінку надійності пристрою.

Ключові слова: активний опір, вимірювання опору, мікроконтролер, електронні блоки.

ANNOTATION

The work is devoted to the creation of a computerized system for in-circuit measurement of resistance of electronic units.

In the process of research, existing solutions in this field were analyzed. A structural and schematic electrical diagram of the system was developed. The central control element is the PIC16F690 microcontroller. A block diagram of the functioning algorithm and software of the measuring system were also created.

A printed circuit board was designed. The device provides the ability to measure resistance and detect short-circuited areas in the circuits of electronic units of radio electronic equipment. The reliability of the device was assessed.

Keywords: active resistance, resistance measurement, microcontroller, electronic units.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	8
1.1 Призначення та область застосування.....	8
1.2 Умови експлуатації.....	9
1.3 Технічні параметри системи.....	10
2 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ.....	11
2.1 Актуальність розробки.....	11
2.2 Огляд та аналіз існуючих технічних рішень.....	12
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	18
3.1 Обґрунтування мікроконтролера.....	18
3.2 Обґрунтування блока живлення.....	19
3.3 Обґрунтування перетворювачів напруги.....	20
3.4 Обґрунтування роз'єму для підключення щупів.....	21
3.5 Обґрунтування індикатора.....	22
3.6 Обґрунтування блоку задання вимірюючого струму.....	24
3.7 Структурна схема.....	25
4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	27
4.1 Вибір мікроконтролера.....	27
4.2 Вибір блоку живлення.....	28
4.3 Вибір перетворювачів напруги.....	30
4.4 Вибір роз'єму для підключення щупів.....	34
4.5 Вибір індикатора.....	35
4.6 Вибір блоку задання вимірюючого струму.....	36
4.7 Побудова принципово-електричної схеми.....	38
4.8 Розробка друкованої плати.....	42

					МІВТ 480.003.031–ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Виконав		Карчевський Р.С.			Комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків Пояснювальна записка			Літ.	Арк.	Акрушів	
Керівник		Подчаїнський Ю.О.							5	63	
								Державний Університет «Житомирська Політехніка» ІВТК-4			
Н. Контр.											
Затверд.		Подчаїнський Ю.О.									

4.9 Розрахунок похибок під час вимірювання опору омметром.....	44
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	47
5.1 Розробка алгоритму.....	47
5.2 Розробка програми.....	48
6 ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ.....	51
6.1 Розрахунок надійності розробленого пристрою.....	51
7 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	55
7.1.Охорона праці.....	55
7.1 Аналіз умов праці на робочому місці.....	56
7.2 Розробка заходів з охорони праці.....	58
7.3 Пожежна безпека приміщення.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	62
ДОДАТКИ.....	65

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку електроніки та збільшення складності електронних пристроїв особливого значення набуває точна діагностика їхніх елементів і вузлів. Одним із ключових етапів технічного обслуговування та ремонту електронної апаратури є виявлення дефектів, таких як коротке замикання, порушення провідності або зміна номіналу резистивних елементів.

Внутрішньосхемне вимірювання опору дає змогу проводити діагностику без демонтажу компонентів, що значно скорочує час обслуговування та знижує ризик пошкодження елементів. У зв'язку з цим розробка міліомметра — пристрою для вимірювання малих значень опору — у складі комп'ютеризованої системи є надзвичайно актуальною.

Застосування мікроконтролерів та комп'ютерного керування дозволяє реалізувати високоточні, автоматизовані процеси вимірювання, покращити зручність користування пристроєм і забезпечити збереження результатів вимірювання для подальшого аналізу.

Таким чином, запропонована система є ефективним інструментом для сервісних центрів, лабораторій та виробничих підприємств, які займаються технічною діагностикою, ремонтом і контролем якості електронних блоків.

Мета дипломної роботи – розробити комп'ютеризовану систему внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків.

Для виконання поставленої мети потрібно виконати такі задачі:

- Провести аналіз існуючих сучасних систем вимірювання опору;
- Розробка структурної та принципової схеми;
- Вибір складових системи;
- Розробка друкованої плати;
- Розрахунок надійності та точності системи;
- Розробка блок-схеми алгоритму та відповідної програми;
- Опис охорони праці.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1.Призначення та область застосування

Комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків призначена для швидкого та точного визначення значень активного опору елементів і ділянок електричних кіл без необхідності демонтажу компонентів зі схеми.

Основною функцією системи є виявлення короткозамкнених ділянок, порушень провідності, відхилень від номінальних параметрів резистивних елементів, що дозволяє ефективно проводити діагностику, ремонт та технічне обслуговування електронних пристроїв.

Система забезпечує автоматизоване керування процесом вимірювання за допомогою мікроконтролера та програмного забезпечення, а також дозволяє зберігати та обробляти отримані результати на ПК.

Комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань опору знаходить широке застосування в різних галузях, де використовуються електронні пристрої та системи. Основними напрямками її використання є:

- Сервісні центри та майстерні з ремонту електроніки – для оперативної діагностики несправностей, виявлення коротких замикань і пошкоджених елементів у радіоелектронній апаратурі;
- Виробничі підприємства електроніки – для здійснення вхідного контролю якості компонентів, перевірки зібраних плат і забезпечення технологічного контролю на етапах виробництва;
- Науково-дослідні лабораторії – у процесах розробки, тестування та вдосконалення нових електронних схем і приладів;
- Освітні заклади – у навчальному процесі для ознайомлення студентів із методами електровимірювань та практичного використання комп'ютеризованих вимірювальних систем;

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- Авіаційна, космічна та оборонна промисловість – для перевірки надійності та працездатності критично важливих електронних модулів;
- Медична електроніка – для діагностики складних багатошарових плат медичного обладнання.

Таким чином, дана система є універсальним інструментом для забезпечення точного, надійного та зручного контролю параметрів електронних блоків у різноманітних сферах діяльності.

1.2. Умови експлуатації

Номінальні умови експлуатації:

- температура навколишнього середовища: 20 ± 5 °С;
- відносна вологість повітря: до 80 % при 25 °С;
- атмосферний тиск: від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.);
- живлення системи: від гальванічного елементу типу ААА (1,5 В) з використанням імпульсного підвищувача напруги до 5 В.

Граничні умови транспортування та зберігання:

- температура навколишнього повітря: від –50 до +70 °С;
- відносна вологість повітря: до 95 % при 30 °С;
- атмосферний тиск: від 84 до 106,7 кПа (від 630 до 800 мм рт. ст.);
- транспортна тряска: 80–120 ударів за хвилину;
- максимальне прискорення: 30 м/с²;
- тривалість дії: до 1 години.

Експлуатаційні характеристики:

- тривалість безперервної роботи: до 16 годин (залежно від ємності батарейки та умов навантаження);
- мінімальна перерва перед повторним включенням: 30 хвилин;
- максимальний струм споживання під час вимірювання: до 200 мА;
- живлення забезпечується однією батарейкою ААА (1,5В) з підвищенням напруги до 5 В для стабільної роботи системи.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Технічні параметри системи

Розроблена система повинна забезпечувати виконання таких функціональних завдань:

- відображення значення активного опору у омах на індикаторі;
- автоматичне вмикання пристрою при підключенні вимірювальних щупів до елемента кола;
- при відсутності підключення щупів, пристрій після певного часу переходить у режим очікування;
- у разі бездіяльності протягом 40 секунд система автоматично переходить у енергозберігаючий режим (сон);
- відносна похибка вимірювання не повинна перевищувати 0,5 %.

Конструктивно всі основні елементи вимірювальної системи, а саме: мікроконтролер, перетворювачі напруги, блок живлення, блок формування вимірювального струму, індикатор і роз'єм для підключення щупів – повинні бути розміщені на односторонній друкованій платі.

Розміри друкованої плати: 85×35 мм.

Розміри корпусу: 90×40×30.

Середній напрацювання на відмову пристрою має становити не менше 14 000 годин.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2.ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1. Класифікація приладів для вимірювання опору

Існує багато приладів, призначених для вимірювання опору, які відрізняються за принципом дії, точністю, діапазоном вимірювань та конструкцією. Їх можна умовно розділити на такі основні типи:

1. Механічні (стрілочні) омметри. Працюють на основі магнітоелектричного або електродинамічного механізму. Застосовуються переважно для простих побутових вимірювань.

2. Цифрові мультиметри з функцією омметра. Найпоширеніші універсальні прилади, здатні вимірювати опір, напругу, струм, ємність тощо. Широко використовуються у побуті та промисловості.

3. Міліомметри. Використовуються для вимірювання низьких опорів (менше 1 Ом) з високою точністю. Особливо корисні при перевірці з'єднань, обмоток трансформаторів і електродвигунів.

4. Мікроомметри. Призначені для надточного вимірювання дуже малих опорів – в діапазоні мікроомів (мкОм). Застосовуються в енергетиці, зварюванні, кабельному виробництві.

5. Мегаомметри. Служать для вимірювання високих опорів в діапазоні мегаомів (МОм). Використовуються для перевірки ізоляції кабелів, трансформаторів, електродвигунів. Часто відомі як ізометри або тестери ізоляції.

6. Гігаомметри. Використовуються для надвисоких опорів – у гігаомах (ГОм). Застосовуються в точній електроніці, медичних приладах, лазерах, ВЧ-обладнанні, де важливо виявляти навіть мінімальні витоки струму.

7. Тераомметри. Це високоспеціалізовані прилади для вимірювання надвисоких опорів у тераомах (ТОм). Використовуються у наукових дослідженнях, вакуумних технологіях, у приладах із наднизьким струмом витоку.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

CEM DT-5300B оснащений 4-провідною (4-х провідною) вимірювальною технологією, що дозволяє мінімізувати вплив опору вимірювальних проводів і контактів, забезпечуючи точні результати навіть при дуже малих значеннях опору.

Прилад має зручний цифровий дисплей із підсвічуванням, що забезпечує легке зчитування результатів у різних умовах освітлення. CEM DT-5300B працює від батарей, що робить його мобільним і зручним для використання у польових умовах

Технічні характеристики міліомметра CEM DT-5300B:

- Діапазон вимірювання опору: 0.1 мкОм до 1200 Ом;
- Точність: $\pm(0.5\% + 2 \text{ знаки})$;
- Метод вимірювання: 4-провідний (Kelvin) метод;
- Вхідна напруга: Відсутня (захист від перенапруги);
- Джерело живлення: 6 х АА батарей або акумуляторів;
- Автоматичне відключення: Після певного часу бездіяльності для економії батарей;
- Інтерфейс: Цифровий дисплей з підсвічуванням;
- Розміри: приблизно 190 х 95 х 40 мм;
- Вага: близько 500 г;
- Додаткові функції: автоматичне збереження даних, індикатор заряду батареї, захист від перевантаження, підтримка роботи з зовнішніми щупами та кліщами [1].

Мікроомметр UT620A (рис.1.2) – це компактний портативний пристрій для вимірювання дуже малих значень опору, починаючи від мікроомів. Прилад застосовується для тестування електричних з'єднань, контактів, проводів, трансформаторів, двигунів, електричних ланцюгів і будь-яких інших об'єктів, де необхідна висока точність вимірювання низьких опорів.

UT620A використовує 4-провідний (Kelvin) метод вимірювання, що дозволяє усунути похибки, пов'язані з опором вимірювальних проводів.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки цьому прилад видає стабільні і точні результати навіть при вимірюванні опорів у межах мікроомів.

Корпус мікроомметра міцний і зручний для роботи в польових умовах. Цифровий дисплей з підсвічуванням забезпечує чітке відображення результатів.



Рисунок 1.2 – Вигляд мікроомметра UNI-T UT620A

Характеристики цифрового мікро-омметра UNI-T UT620A:

- Діапазон вимірювання опору: від 0.1 мкОм (0.0001 мОм) до 2000 Ом;
- Точність вимірювання: $\pm(0.5\% + 2 \text{ цифри})$;
- Метод вимірювання: 4-провідний Kelvin метод;
- Вихідний струм: 200 мА (стандартний для тестів);
- Живлення: 6 х АА батарей або акумуляторів;
- Індикація: Цифровий LCD дисплей з підсвічуванням;
- Автоматичне відключення: ϵ ;
- Розміри: приблизно 190 х 90 х 40 мм;
- Вага: близько 450 г;
- Додаткові функції: захист від перевантаження, індикатор заряду батареї, збереження останнього виміру, підключення зовнішніх вимірювальних щупів [2].

Extech 380460 (рис1.3) – це професійний міліомметр, розроблений для точного вимірювання низьких значень опору електричних кіл та компонентів. Прилад ідеально підходить для перевірки якості з'єднань, опору обмоток двигунів, трансформаторів, кабелів, контактів і т. ін. Він забезпечує точні та надійні вимірювання за допомогою 4-провідної (Kelvin) технології, яка усуває вплив опору вимірювальних проводів.



Рисунок 1.3 – Вигляд прецизійного міліомметра (110VAC) Extech 380460

Прилад працює від мережі змінного струму 110 В (110VAC), що забезпечує стабільне живлення під час вимірювань і дозволяє уникнути проблем з батареями. Це робить його ідеальним вибором для лабораторій та стаціонарних робочих місць.

Extech 380460 має зручний цифровий дисплей із підсвічуванням для легкого зчитування результатів, а також міцний корпус, який витримує умови інтенсивної експлуатації.

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання опору: 0.1 мкОм до 2000 Ом;
- Точність: $\pm(0.5\% + 3 \text{ цифри})$;
- Метод вимірювання: 4-провідний Kelvin метод;
- Вихідний тестовий струм: 200 мА;
- Живлення: 110 В змінного струму (110VAC);

- Дисплей: Цифровий LCD із підсвічуванням;
- Інтерфейс: Кнопки керування для вибору діапазону та режимів;
- Розміри: приблизно 230 x 140 x 70 мм;
- Вага: близько 1.5 кг;
- Додаткові особливості: захист від перевантаження, автоматичне відключення, можливість збереження результатів, вхід для зовнішніх щупів і кліщів [3].

Мікроомметр МІ 3242 (рис.1.4) – це високоточний прилад для вимірювання дуже малих значень опору, що застосовується у електротехнічній діагностиці, ремонті і контролі якості електричних ланцюгів. Прилад призначений для тестування контактів, з'єднань, кабелів, обмоток двигунів, трансформаторів та інших об'єктів, де потрібне точне вимірювання низького опору.

МІ 3242 використовує 4-провідний (Kelvin) метод вимірювання, що виключає вплив опору вимірювальних проводів, забезпечуючи високу точність і стабільність результатів.

Корпус приладу міцний, а цифровий дисплей з підсвічуванням дозволяє комфортно зчитувати показники навіть у поганих умовах освітлення. Пристрій також оснащений функціями захисту та автоматичного відключення для збереження ресурсу батареї.



Рисунок 1.3 – Вигляд мікроомметра МІ 3242

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Особливості мікроомметра МІ 3242:

- Діапазон вимірювання опору: від 0.1 мкОм до 2000 Ом;
- Точність: $\pm(0.5\% + 2 \text{ цифри})$;
- Метод вимірювання: 4-провідний Kelvin метод;
- Вихідний струм: близько 200 мА;
- Живлення: 6 х АА батарей (або акумуляторів);
- Дисплей: Цифровий LCD з підсвічуванням;
- Автоматичне відключення: є;
- Розміри: приблизно 195 х 90 х 40 мм;
- Вага: близько 500 г;
- Додаткові функції: захист від перевантаження, індикатор заряду батареї, пам'ять для збереження результатів, підключення зовнішніх щупів [4].

Хоча існуючі міліомметри та мікроомметри (CEM DT-5300B, UT620A, Extech 380460, МІ 3242) забезпечують точні вимірювання низьких опорів, вони мають обмеження в автоматизації, збереженні та обробці даних. Створення комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків дозволить:

- Автоматизувати процес вимірювань, зменшуючи людський фактор і помилки;
- Збирати та аналізувати дані в режимі реального часу;
- Зберігати історію вимірювань для подальшого контролю та діагностики;
- Підвищити швидкість і ефективність тестування складних електронних схем;
- Забезпечити інтеграцію з іншими системами для комплексного контролю якості.

Таким чином, власна комп'ютеризована система значно підвищить продуктивність і точність внутрішньосхемних вимірювань у порівнянні з використанням окремих портативних приладів.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1. Обґрунтування мікроконтролера

Мікроконтролер у комп'ютеризованій системі внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків виконує роль центрального керуючого елемента. Він відповідає за управління процесом вимірювання, подаючи сигнали на необхідні компоненти системи, а також за оцифрування отриманих аналогових сигналів для подальшої обробки. Мікроконтролер здійснює автоматизацію вимірювань, забезпечує передачу результатів на комп'ютер або дисплей і виконує обробку даних у режимі реального часу. Крім того, він контролює взаємодію з користувачем, приймаючи команди та відображаючи інформацію. Завдяки мікроконтролеру система працює автономно, точно і ефективно, поєднуючи апаратні та програмні частини в єдиний функціональний комплекс.

Мікроконтролер – це компактна інтегральна схема, що містить процесор, пам'ять та периферійні інтерфейси. Він призначений для керування електронними пристроями та системами в режимі реального часу. Зазвичай використовується в вбудованих системах – побутовій техніці, автомобілях, медичному обладнанні, автоматизованих вимірювальних пристроях тощо. Мікроконтролер містить у собі: процесор, ОЗП, ПЗП, порти вводу-виводу для підключення зовнішніх пристроїв, модулі вводу аналогового сигналу АЦП, таймери, контролери переривання, контролери різних інтерфейсів.

Для комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків можна розглянути кілька варіантів мікроконтролерів. Серед популярних сімейств – AVR від Atmel (тепер Microchip), ARM Cortex-M від різних виробників, STM32, а також PIC від Microchip. Вибір конкретного мікроконтролера залежить від вимог системи: необхідної кількості входів/виходів, швидкості обробки даних, підтримки інтерфейсів, енергоспоживання і простоти програмування.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Для нашої системи важливі компактність, надійність, достатня кількість периферійних модулів (АЦП для оцифровки сигналів, UART/SPI/I2C для зв'язку), а також можливість ефективно керувати процесом вимірювань і автоматизацією. У цьому контексті відмінним варіантом є мікроконтролер PIC16F.

PIC16F має оптимальний набір функцій для реалізації нашої задачі: він простий у програмуванні, має вбудований АЦП достатньої розрядності для точних вимірювань, а також підтримує різні інтерфейси для комунікації з іншими модулями системи. Крім того, мікроконтролери PIC16F відомі своєю стабільністю та широкою підтримкою в розробницькій спільноті, що робить їх ідеальним вибором для побудови надійної і ефективної комп'ютеризованої системи вимірювань [5].

3.2. Обґрунтування блока живлення

Для стабільної та надійної роботи комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору необхідне якісне джерело живлення, яке забезпечить постійну напругу і достатній струм для всіх компонентів системи. Враховуючи компактність і мобільність приладу, важливо обрати живлення, яке буде легким, безпечним і простим у заміні.

Блок живлення – вторинне джерело живлення, призначене для забезпечення живлення електроприладу електричною енергією, при відповідності вимогам її параметрів: напруги, струму, і т. д. шляхом перетворення енергії інших джерел живлення.

Блок живлення повинен гарантувати стабільну роботу мікроконтролера, вимірювальних датчиків та інших електронних модулів без коливань напруги, які можуть вплинути на точність вимірювань. Водночас, джерело живлення не повинно ускладнювати конструкцію і збільшувати габарити пристрою.

Оскільки більшість елементів системи вимагають живлення напругою 5 В та 3 В, для їх коректної роботи буде використано стабілізатори напруги та підвищувачі напруги (boost-конвертери). Вони перетворюватимуть напругу від батарейки до необхідних рівнів, забезпечуючи стабільність і точність роботи мікроконтролера, датчиків і інших компонентів. Таким чином, застосування стабілізаторів і підвищувачів напруги дозволить ефективно використовувати компактне джерело живлення без шкоди для продуктивності системи [6].

Враховуючи ці вимоги, оптимальним рішенням є використання однієї батарейки типу ААА. Така батарейка має компактні розміри, достатню ємність для тривалої роботи системи в польових умовах і забезпечує стабільну напругу близько 1.5 В. Використання одного акумулятора ААА робить пристрій зручним у експлуатації, дозволяє швидко замінити живлення, а також зменшує загальну вагу системи, що важливо для портативного вимірювального приладу.

3.3.Обґрунтування перетворювачів напруги

Обґрунтування використання перетворювачів напруги у нашій системі базується на необхідності забезпечити стабільне живлення різних компонентів із урахуванням обмеженого енергетичного ресурсу від однієї батарейки ААА. Оскільки напруга цієї батарейки становить близько 1.5 В, а для роботи мікроконтролера та інших електронних модулів потрібні стабільні рівні живлення 3 В і 5 В, застосування підвищуючих перетворювачів напруги є виправданим і обов'язковим.

Підвищуючий перетворювач напруги – це імпульсний стабілізатор сталої напруги, який дозволяє отримати на навантаженні напругу, вищу за напругу джерела живлення. Конструктивно він містить дросель, який послідовно з'єднаний в ланцюг, та транзистор, підключений паралельно до навантаження. Для зменшення пульсацій напруги в схему додають фільтри з конденсаторів на вході або на виході.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання такого перетворювача дозволяє мінімізувати кількість батарей, що особливо важливо для компактних та портативних систем, де збільшення кількості джерел живлення обмежене через розміри.

Стабілізатор напруги, у свою чергу, забезпечує підтримку фіксованого рівня напруги на виході, незважаючи на коливання напруги в мережі живлення, зміни навантаження чи температури. Це особливо важливо для нашої системи, де точність вимірювань залежить від стабільності живлення. Стабілізатори автоматично підтримують напругу у заданих межах і можуть відключати живлення при значних відхиленнях, захищаючи електронні компоненти від пошкоджень [7].

Враховуючи ці фактори, у нашій системі живлення від однієї батарейки ААА буде підсилюватися підвищуючими перетворювачами до необхідних рівнів 3 В і 5 В, а стабілізатори забезпечуватимуть стабільність і якість подачі напруги. Такий підхід гарантує ефективне використання енергії, компактність системи та точність і надійність внутрішньосхемних вимірювань.

3.4. Обґрунтування роз'єму для підключення щупів

Для нашої комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору вибір відповідного роз'єму для підключення щупів є важливою складовою, що впливає на надійність, точність і зручність експлуатації. Роз'єми служать для передачі електричних сигналів і повинні відповідати специфіці роботи системи, зокрема – передачі слабких вимірювальних сигналів із мінімальними втратами та перешкодами.

Роз'єми складаються з контактів та корпусу, причому контакти можуть бути як звичайними, так і позолоченими для забезпечення кращої провідності і запобігання корозії. Вибір типу роз'єму залежить від виду сигналу – у нашому випадку це електричні вимірювальні сигнали, які вимагають якісного і стабільного контакту.

За конструкцією роз'єми поділяються на штекери (вилки) та гнізда (розетки). Зазвичай гніздо монтується на корпусі пристрою, а штекер – на кабелі щупів, що забезпечує зручне і швидке підключення та відключення.

Також важливо враховувати місце встановлення роз'єму: монтажний роз'єм фіксується на корпусі системи, а кабельний – на кінці проводу щупів. Вибір правильного типу виконання – прямого або кутового – залежить від особливостей конструкції системи і умов експлуатації. Для компактних або обмежених у просторі пристроїв кутові роз'єми дозволяють уникнути зайвих вигинів і пошкоджень кабелів, збільшуючи довговічність щупів.

Щупи підключаються шляхом вставлення штекера кабелю в гніздо на корпусі пристрою. Для надійного контакту важливо переконатися, що штекер щільно сидить у роз'ємі і не має люфтів, що може вплинути на точність вимірювань. Після підключення слід зафіксувати штекер, якщо роз'єм має механізми фіксації (наприклад, гвинтові замки або фіксатори), щоб запобігти випадковому відключенню під час роботи [8].

Отже, для нашої системи підключення щупів важливо обрати роз'єми, які забезпечать надійний електричний контакт, простоту підключення і зручність користування, а також відповідатимуть габаритам і умовам експлуатації пристрою. Це гарантуватиме стабільність вимірювань і довготривалу безперебійну роботу системи.

3.5. Обґрунтування індикатора

Вибір індикатора для комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору є важливим етапом проектування, оскільки саме через індикатор користувач отримує інформацію про результати вимірювання, стан пристрою чи процесу.

Індикатор – прилад, за допомогою якого здійснюють індикацію зміни якогось параметра контрольованого процесу або стану об'єкта у формі, зручній для візуального сприйняття (наприклад, індикатор годинникового типу,

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаковий індикатор тощо). Індикатор задимлення може вмикати звуковий сигнал.

Існує кілька основних типів індикаторів, що застосовуються в електронних системах:

- Сегментні світлодіодні індикатори (LED) – прості у використанні, надійні, яскраві, добре помітні при різному освітленні. Здебільшого використовуються 7-сегментні індикатори для відображення цифр. Є як однорозрядні, так і багаторозрядні модулі;

- Рідкокристалічні індикатори (LCD) – споживають мало енергії, можуть відображати символи, текст і графіку, але мають меншу яскравість, потребують підсвічування та мають більшу складність в керуванні;

- OLED-індикатори – яскраві, енергоефективні, з високою контрастністю, здатні відображати текст і графіку, але дорожчі і складніші в інтеграції;

- Матриці світлодіодів – дозволяють виводити символи та просту графіку, потребують складнішого керування, але є зручними для динамічного відображення інформації.

У нашій системі відображення точних числових значень опору є основною функцією індикації, тому необхідний простий, яскравий і чітко видимий цифровий індикатор, який забезпечить зручне сприйняття результатів навіть при зміні умов освітлення. Враховуючи компактні розміри приладу та обмежене енергоспоживання, оптимальним варіантом є сегментний світлодіодний індикатор.

Серед доступних варіантів нами було обрано HG1 FYQ3641BH – це чотирицифровий 7-сегментний LED-індикатор червоного кольору світіння. Він має добру видимість, просту схему підключення, сумісність із низьковольтними мікроконтролерами та прийнятне енергоспоживання. Завдяки чотирьом розрядам, він дозволяє відображати результати з достатньою точністю для вимірювань опору. Його конструкція забезпечує зручний монтаж на плату, а форма символів – легке зчитування результатів [9].

Таким чином, HG1 FYQ3641BH повністю відповідає технічним і функціональним вимогам нашої системи, поєднуючи у собі компактність, ефективність, простоту керування та зручність для користувача.

3.6. Обґрунтування блоку задання вимірюючого струму

У нашій комп'ютеризованій системі внутрішньосхемних вимірювань опору обґрунтування вибору блоку задання вимірювального струму базується на практичності, точності та універсальності методу, який лежить в основі роботи системи.

Хоча існує кілька методів вимірювання опору, зокрема метод моста Вітстона або імпульсно-часові методи на основі RC-ланцюгів, у нашому проєкті обрано класичний і водночас найбільш прямолінійний підхід, що спирається на закон Ома:

$$U=I*R \quad (3.1)$$

Цей метод передбачає вимірювання падіння напруги на об'єкті (U_x) і струму (I_x), що через нього протікає, після чого обчислюється опір:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} \quad (3.2)$$

де U_x , I_x – значення спаду напруги на об'єкті та струму, що протікає по ньому

Перевага такого підходу полягає в його простоті реалізації на рівні електронної схеми, високій точності вимірювань та можливості гнучко налаштовувати рівень вимірювального струму під конкретні умови — наприклад, для малих опорів застосовується більший струм, щоб отримати достатньо значне падіння напруги, яке можна точно виміряти.

Блок задання струму в нашій системі виконує функцію джерела стабілізованого струму, який подається через досліджуваний елемент. Стабільність цього струму критично важлива, оскільки навіть незначні коливання напруги впливають на точність розрахунку опору.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

У нашій системі струм задається апаратно – за допомогою джерела струму, яке може бути реалізовано на операційному підсилювачі з референсним напругоформувачем або через цифрове керування мікроконтролером із регулюванням вихідної напруги/струму через цифро-аналоговий перетворювач і транзистор.

Такий метод дозволяє проводити вимірювання в широкому діапазоні, охоплюючи як низькі, так і відносно високі значення опорів. Він є ефективним у вимірюваннях резистивних компонентів, обмоток трансформаторів, кристалічних структур і аналогічних об'єктів, що можуть мати нестабільну або нелінійну вольт-амперну характеристику. У цьому випадку важливо, щоб режим вимірювання відповідав умовам нормальної експлуатації елемента [10].

Таким чином, використання методу на основі закону Ома та впровадження стабілізованого джерела струму як блоку задання дозволяє досягти максимальної точності та адаптивності в роботі системи, а також забезпечити зручність реалізації та повторюваність результатів.

3.7. Структурна схема

Структурна схема комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань опору представлена на рис.3.1.

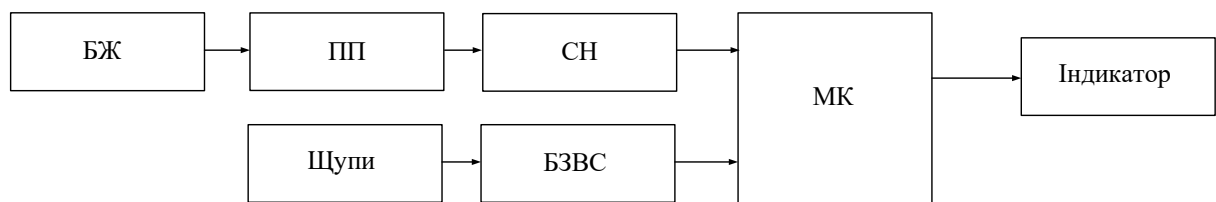


Рисунок 3.1 – Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання опору в схемі

Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання опору включає функціональні вузли, що забезпечують точність, стабільність та зручність роботи.

В основі вимірювання лежить закон Ома.

Центральний елемент — мікроконтролер, який керує всіма блоками, обробляє дані, розраховує опір і передає результат на індикатор. Він також формує вимірювальний струм та контролює роботу пристрою.

Живлення здійснюється від однієї батарейки ААА, що забезпечує компактність. Для отримання необхідних напруг (3 В і 5 В) застосовуються підвищуючий перетворювач і стабілізатор напруги.

Щупи підключаються до досліджуваного елемента. Блок задання струму формує сталий струм через об'єкт, напруга на ньому вимірюється, а опір розраховується як $R = U/I$.

Результати відображаються на світлодіодному індикаторі HG1 FYQ3641BH, що забезпечує зручне зчитування навіть при слабкому освітленні.

Таким чином, структурна схема включає шість ключових функціональних блоків, кожен з яких виконує чітко визначену роль. Їх взаємодія забезпечує стабільну та точну роботу всієї системи, роблячи її зручною для вимірювання внутрішньосхемного опору в електронних блоках.

Схема складається з наступних елементів:

- Мікроконтролер;
- Підвищуючий перетворювач напруги;
- Стабілізатора напруги;
- Щупи;
- Блок задання вимірюючого струму;
- Індикатор.

4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

4.1. Вибір мікроконтролера

В якості мікроконтролера обрано PIC16F690-I/P та PIC16F689-I/P, які мають певні переваги.

PIC16F690-I/P –це 8-бітний мікроконтролер виробництва компанії Microchip Technology, який належить до сімейства PIC16F. Він є надійним, економічним та зручним для використання в різноманітних вбудованих системах, зокрема таких, як вимірювальні пристрої, системи керування та автоматизації.

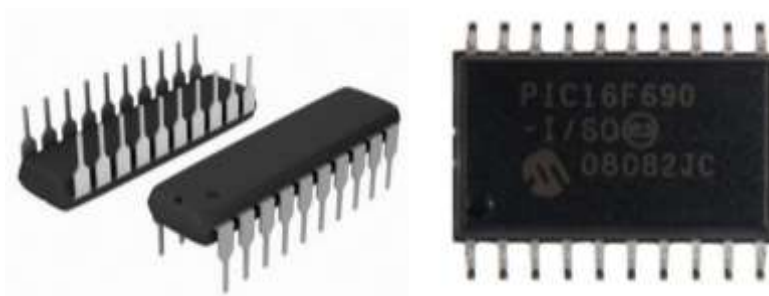


Рисунок 4.1 – Вигляд мікроконтролера PIC16F690

Особливості:

- Вбудований внутрішній генератор (до 8 МГц), що дозволяє працювати без зовнішнього кварцу;
- Енергозберігаючі режими роботи, включаючи SLEEP;
- Програмування за допомогою ICSP (In-Circuit Serial Programming);

Наявність порівнювачів, модуля CCP (Capture/Compare/PWM).

Основні характеристики:

- Архітектура: 8-біт RISC;
- Тактова частота: до 20 МГц;
- Пам'ять програми (Flash): 7 КБ;
- Оперативна пам'ять (RAM): 256 байт;
- EEPROM: 256 байт;
- Кількість виводів: 20;

- Кількість портів введення/виведення (I/O): 19;
- Інтерфейси: I²C, SPI, USART;
- АЦП: 12-канальний 10-бітний;
- Таймери: три таймери (один 8-бітний і два 16-бітних);
- ШІМ (PWM): 2 канали;
- Напруга живлення: 2.0–5.5 В;
- Корпус: PDIP-20 (двосторонній корпус із 20 виводами);
- Робочий температурний діапазон: –40°C до +85°C (індекс I означає "Industrial grade").

PIC16F690-I/P ідеально підходить для реалізації комп'ютеризованої системи вимірювання опору завдяки:

- достатній кількості I/O-виводів для підключення щупів, індикатора та керуючих сигналів;
- наявності 10-бітного АЦП для точного вимірювання напруги;
- вбудованим інтерфейсам для обміну даними або підключення периферії;
- можливості працювати від 5 В, що сумісно з більшістю елементів системи [11].

Таким чином, PIC16F690-I/P є надійним вибором для створення недорогої, енергоефективної та функціональної вимірювальної системи.

4.2. Вибір блоку живлення

Для живлення нашої схеми передбачається використання гальванічного елемента типорозміру ААА. Такі батарейки часто застосовуються в електронних пристроях із низьким енергоспоживанням – наприклад, у пультах дистанційного керування, світлодіодному підсвічуванні, годинниках, невеликих іграшках тощо. Перед вибором типу батареї слід враховувати, що існують два основні різновиди: сольові (RO3) та лужні (LRO3). Вони не є повністю взаємозамінними, оскільки призначені для різних режимів роботи.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Сольові батарейки краще підходять для пристроїв з короткочасним високим навантаженням, тоді як лужні оптимальні для тривалої роботи при стабільному, невеликому струмі споживання – саме такого типу енергоживлення потребує наша система.

Технічні характеристики:

- Батарейка типорозміру AAA має стандартні габарити: довжина становить приблизно 44,6 мм, а діаметр – 10,5 мм.
- Середня вага такої батарейки складає близько 12 грамів.
- Номінальна напруга елемента живлення – 1,5 В.
- Типова ємність сольових батареек цього формату становить близько 500 мА·год, тоді як лужні забезпечують до 1250 мА·год.
- Акумулятори аналогічного розміру, залежно від типу, мають ємність у межах від 300 до 1250 мА·год.



Рисунок 4.3 – Вигляд батарейки типорозміру AAA

Лужні батарейки Duracell AAA відзначаються тривалим збереженням енергії, що робить їх особливо підходящими для технічних пристроїв. Завдяки спеціальному торцевому покриттю Superior Nylon знижується ризик витікання електроліту. Технологія Duralock забезпечує збереження заряду до 10 років за умови належного зберігання, тож батарейки залишаються готовими до використання навіть після тривалого простою. Вони ідеально підходять для живлення приладів, які потребують стабільного та потужного енергопостачання [12].

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

4.3.Вибір перетворювачів напруги

Сучасні електронні пристрої вимагають високої стабільності напруги живлення для забезпечення точної та надійної роботи. Цим вимогам відповідають стабілізатори напруги, які широко застосовуються у вигляді інтегральних мікросхем. Вони поєднують компактність, низьку масу, доступну вартість і високу ефективність. Існують стабілізатори з фіксованим та регульованим вихідним значенням напруги.

Стабілізатори з фіксованою вихідною напругою вже мають вбудований дільник напруги, налаштований на стандартне значення ще під час виробництва. Натомість регульовані (універсальні) стабілізатори дозволяють задавати необхідну напругу за допомогою зовнішнього резисторного дільника, що надає більше гнучкості при проектуванні.

Крім основної функції стабілізації, більшість стабілізаторів оснащені вбудованими захистами: від перевищення струму, перегріву, коротких замикань. У разі виникнення критичних умов стабілізатор автоматично обмежує струм або потужність, знижуючи вихідну напругу до безпечного рівня. Це забезпечує додатковий рівень безпеки та продовжує термін служби пристрою.

У схемах з такими стабілізаторами зазвичай використовуються електролітичні конденсатори ємністю не менше ніж 10 мкФ, що забезпечує належну фільтрацію пульсацій.

Одним із прикладів ефективного регульованого стабілізатора є модель ХС6206Р301. Хоча вона потребує зовнішнього резистивного дільника, її точні характеристики, стабільна робота та додаткові функції роблять її привабливим вибором для використання в компактних і відповідальних електронних системах.

ХС6206Р301 – це лінійний стабілізатор напруги з фіксованою вихідною напругою 3,0 В.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

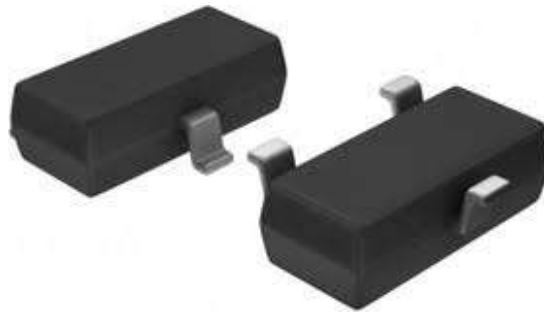


Рисунок 4.4 – Вигляд стабілізатора XC6206P301

Він належить до серії малошумних, малоспоживних мікросхем стабілізації, призначених для живлення чутливої електроніки, зокрема в портативних пристроях. Стабілізатор XC6206P301 здатен забезпечувати значні струми при мінімальному падінні напруги. У його структурі реалізовано ланцюг обмеження струму, драйверний транзистор, високоточне джерело опорної напруги, а також схему компенсації похибок. Цей стабілізатор відмінно працює з керамічними конденсаторами з низьким еквівалентним послідовним опором (ESR), що дозволяє створювати компактні та надійні рішення.

Функція обмеження струму також виконує роль захисту від короткого замикання, запобігаючи надмірному струму на виході та ушкодженню елементів.

Завдяки лазерному обрізанню під час виробництва, вихідна напруга стабілізатора точно задається всередині мікросхеми. Вона може бути обрана з кроком 0,1 В у діапазоні від 1,2 В до 5,0 В, що дозволяє підібрати оптимальне значення для конкретного застосування.

Основні характеристики XC6206P301:

- Тип: Лінійний стабілізатор з фіксованим виходом;
- Вихідна напруга: 3.0 В;
- Вхідна напруга: від 2 В до 6 В;
- Максимальний вихідний струм: до 250 мА;
- Низьке падіння напруги (Dropout Voltage): ~200 мВ при 100 мА навантаження;

- Споживання струму в режимі холостого ходу: близько 1 μA (дуже енергоефективний);
- Захист: вбудований захист від перевантаження по струму та перегріву;
- Корпус: стандартний SOT-23 або аналогічний [13].

У нашій системі вимірювання опору стабілізатор XC6206P301 використовується для забезпечення стабільного живлення мікроконтролера та чутливих елементів, які потребують 3.0 В, незалежно від коливань напруги на вході (наприклад, від батареї чи підвищуючого перетворювача).

Стабілізатори з малим падінням напруги виконані на регулюючому елементі з колекторним виходом. Структурна схема такого стабілізатора наведена на рис.4.2. Регулюючий транзистор має два колектори, один з яких є вихідним, а інший – датчиком струму для схеми захисту від перевантаження за струмом. Крім того, у схемі передбачено захист від перенагрівання та входних перенапруг.

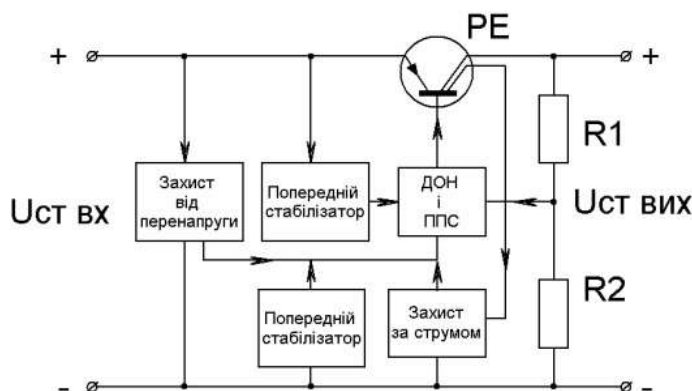


Рисунок 4.5 – Структурна схема стабілізатора

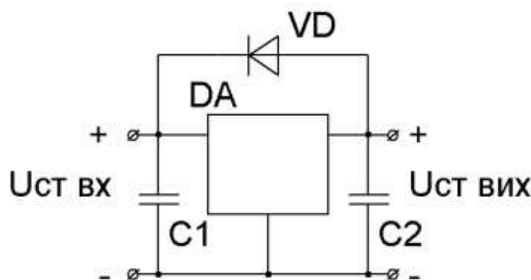


Рисунок 4.6 – Схема ввімкнення інтегральних стабілізаторів

Типове підключення інтегрального стабілізатора напруги (ІСН) зображено на рис. 4.2. Для забезпечення стабільної роботи мікросхеми стабілізатора при раптових змінах навантаження та зменшення рівня пульсацій необхідне використання вихідного конденсатора: понад 1 мкФ для танталових або понад 10 мкФ для алюмінієвих оксидних. Для запобігання самозбудженню стабілізатора при різкому поданні вхідної напруги застосовується вхідний конденсатор: не менше 2,2 мкФ для танталових або 10 мкФ для алюмінієвих оксидних.

Роль підвищуючого перетворювача у системі виконує модуль на базі NCP140SN33, який містить сам регулятор, дросель, три конденсатори та діод Шоткі. Цей компактний перетворювач здатен стабільно формувати напругу 3,3 В з вхідної напруги, починаючи від 0,8 В, і забезпечує струм до 200 мА. Завдяки цим властивостям він є ідеальним рішенням для живлення малопотужних пристроїв у нашій системі, які працюють від одного або двох NiMH, NiCd чи лужних елементів.



Рисунок 4.6 – Вигляд підвищуючого перетворювача

Технічні характеристики:

- Тип: Підвищуючий перетворювач напруги (Step-Up DC-DC Converter);
- Вхідна напруга: 0.8–5.5 В;
- Вихідна напруга (фіксована): 1.8 В, 2.5 В, 3.0 В, 3.3 В, 5.0 В;
- Максимальний вихідний струм: до 200 мА;
- ККД: до 90%;
- Робоча частота: ~200 кГц;
- Споживання у режимі очікування: ~0.5 мкА;

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- Захист: Від перевантаження по струму;
- Сумісність: Керамічні та танталові конденсатори;
- Корпус: SOT-23-5;
- Робочий температурний діапазон: $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ [14].

Цей імпульсний підвищуючий стабілізатор побудований на базі регулятора NCP1402. Його компактні розміри – $8,4 \text{ мм} \times 12,7 \text{ мм}$ – та мінімальна вхідна напруга $0,8 \text{ В}$ дозволяють легко реалізувати живлення $3,3 \text{ В}$ або 5 В від джерела з нижчою напругою. Максимальний вихідний струм і рівень пульсацій залежать від вхідної напруги: при достатньо високій напрузі стабілізатор може забезпечити до 200 мА струму. За низьких вхідних напруг пульсації на виході складають близько 40 мВ пік–пік, а при вхідній напрузі, що наближається до вихідної, вони можуть збільшуватися до 150 мВ . Тому для пристроїв, чутливих до шумів, рекомендується встановлювати конденсатор між виходом і землею, особливо якщо вхідна напруга близька до вихідної.

4.4. Вибір роз'єму для підключення щупів

Штекери типу «банан» – це конектори у формі наконечника, які встановлюють на кабель для підключення акустичних систем, лабораторних щупів, блоків живлення або тестерів. Контактна частина складається з чотирьох пружних пластин, що забезпечують надійне і щільне з'єднання зі гніздом.



Рисунок 4.7 – Вигляд штекера типу «банан»

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Діаметр контакту становить 4 мм. Для ізоляції використовується захисний корпус з ПВХ або нейлону.

Корпус штекера має розбірну конструкцію і монтується на кабель за допомогою пайки або гвинтового з'єднання, залежно від моделі. Ізолятори бувають різних кольорів, найпоширеніші – чорний і червоний.

Завдяки простоті й зручності у використанні, штекери типу «банан» широко застосовуються в акустичних системах, вимірювальній техніці та лабораторних блоках живлення. Вони також є невід'ємною частиною лабораторних щупів для тестерів, підключаючись безпосередньо до гнізд вимірювальних пристроїв.



Рисунок 4.8 – Вигляд штекера типу «банан»

Роз'єм типу «банан» – конектори для установки на панель приладів з фіксацією за допомогою гайки. Матеріалом ізоляції рознімачів є нейлон. Колір рознімачів: чорний, червоний, синій, жовтий, зелений для зручного позначення різних роз'ємів. Граничний струм експлуатації гнізда типу банан становить 10 А, робоча напруга до 250 В [15].

4.5. Вибір індикатора

Індикатор HG1 FYQ3641BH – це цифровий світлодіодний дисплей, який призначений для чіткого та наочного відображення результатів вимірювань. Він має яскраве підсвічування, що забезпечує хорошу видимість навіть за

низького освітлення. Цей індикатор відрізняється компактними розмірами, простотою інтеграції в електронні пристрої та надійністю роботи.



Рисунок 4.11 –Індикатора HG1 FYQ3641BH

Ось основні характеристики індикатора HG1 FYQ3641BH:

- Тип індикатора: цифровий 7-сегментний світлодіодний дисплей;
- Кількість розрядів: зазвичай 3 або 4 (залежно від модифікації);
- Колір підсвічування: червоний або інший (часто червоний);
- Тип світлодіодів: стандартні LED з високою яскравістю;
- Розмір символів: близько 10–14 мм (залежить від конкретної моделі);
- Напруга живлення: приблизно 5 В (залежить від схеми підключення);
- Інтерфейс підключення: прямі виводи сегментів для керування мікроконтролером або драйвером дисплея;
- Кут огляду: широкий, до 120° і більше;
- Робоча температура: зазвичай від -20°C до +70°C;
- Споживання енергії: низьке, за рахунок світлодіодної технології [16].

4.6.Вибір блоку задання вимірюючого струму

Розглянемо просту схему: ліворуч батарейка, вгорі досліджуваний резистор R_x , послідовно включений амперметр і змінний резистор на один кілоом.

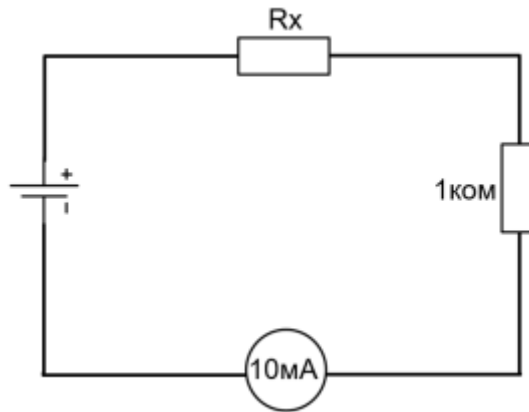


Рисунок 4.12 – Схема принципова

Обертаючи ручку резистора, виставляю струму в ланцюгу, що дорівнює 10 мА. Звернемо увагу, що напруга батареї (або блоку живлення) не відіграє принципової ролі і може бути близько 5-9 вольт, головне – точно відрегулювати струм у ланцюзі.

Тепер, не розмикаючи ланцюг, вимірюю вольтметром напругу, яка створюється струмом, що протікає на досліджуваному резисторі. Ось так:

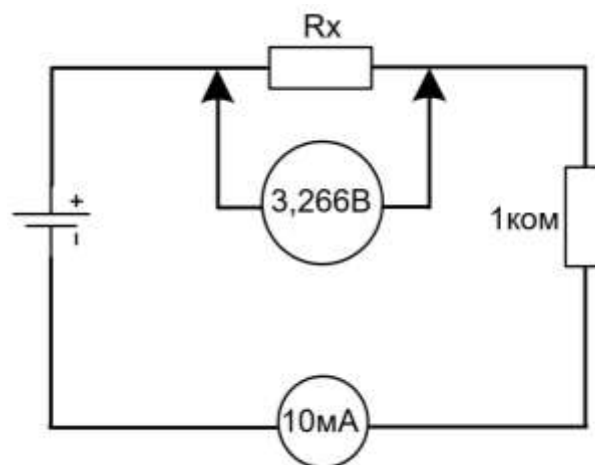


Рисунок 4.12 – Замір напруги вольтметром

Прилад показує значення 3,266 Вольт. Згадаймо закон Ома зі шкільного курсу фізики та застосуємо його. $R = U/I = 3,266 / 0,01$ (оскільки 10 мА = 0.01 А) Підставляємо і одержуємо: $R = 326,6 \text{ Ом}$

Цим дослід продемонстрував принцип роботи приставки для виміру малих опорів. Якщо є джерело струму з внутрішнім автоматичним

регулюванням, ми отримуємо можливість вимірювати опір по напрузі ділянки ланцюга.

4.7. Побудова принципово-електричної схеми

Принципова схема міліметра представлена на рис. 4.1. Головним елементом є мікроконтролер DD1 PIC16F690-I/P, який працює на внутрішньому RC-генераторі з частотою 8 МГц. Живлення мікроконтролера забезпечується інтегральним стабілізатором DA3 XC6206P301 з вихідною напругою 3 В, який відзначається дуже низьким власним струмом споживання (1 мкА) та мінімальним падінням напруги між входом і виходом, необхідним для стабільної роботи пристрою.

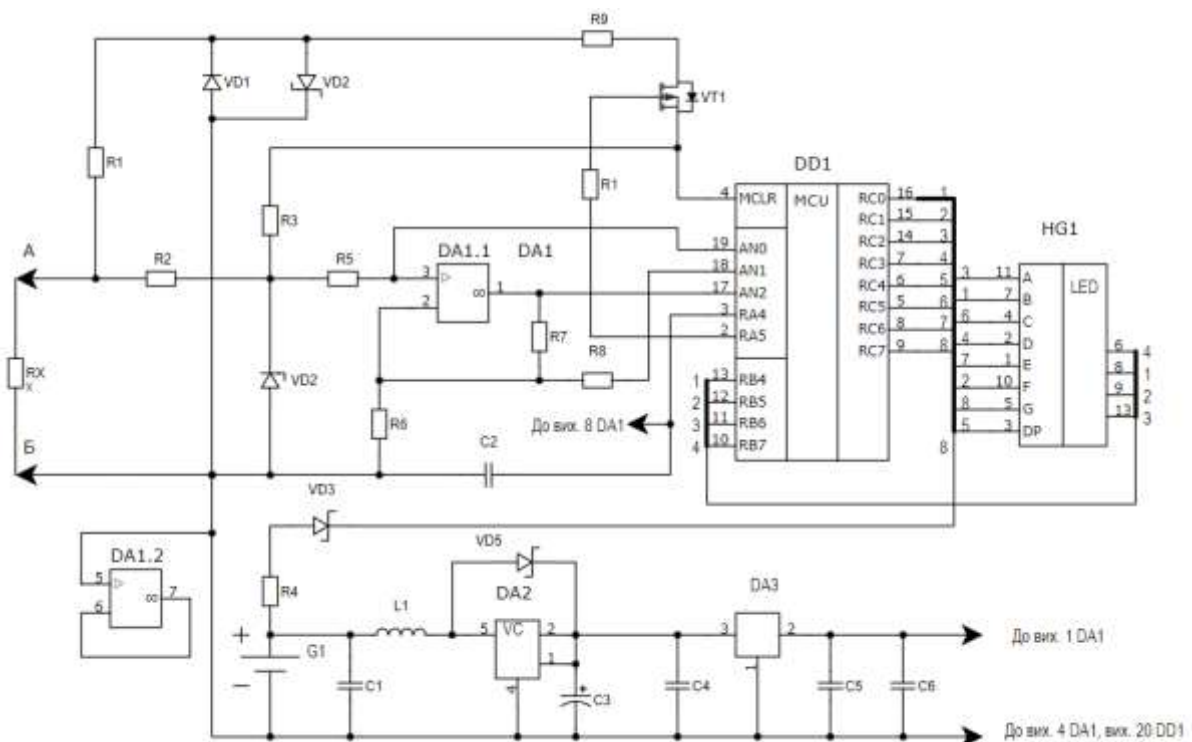


Рисунок 4.13 – Принципова електрична схема

Перелік елементів принципової схеми:

- DD1 – мікроконтролер PIC16F690;
- HL1 – індикатор FYQ3641;
- L1 – дросель 56 мкГн;

- VT1 – транзистор IPLML6302;
- VD1 – діод 1N4002;
- VD2, VD4 – діод 1N5818;
- VD3 – діод 1N4728A;
- R1 – резистор 0,68Ом;
- R2 – резистор 470Ом;
- R3 – резистор 1Мом;
- R4 – резистор 100Ом;
- R5 – резистор 3,3кОм;
- R6 – резистор 68Ом;
- R7 – резистор 51кОм;
- R8, R9 – резистор 1кОм;
- R10 – резистор 10кОм;
- C1 – конденсатор 1мкФ;
- C2, C3, C5, C6 – конденсатори 10мкФ;
- C4 – конденсатор 220мкФ 160В;
- DA1 – операційний підсилювач MCP602;
- DA2 – перетворювач напруги NCP1402SN33;
- DA3 – стабілізатор напруги C6206P301.

Напруга 3,3 В подається на вхід стабілізатора DA3 від підвищуючого перетворювача, який складається з елементів DA2, L1, VD5, C1, C3, C4. Мікросхема DA2 (NCP1402SN33) працює за типовою схемою включення. Застосування додаткового стабілізатора DA3 пояснюється тим, що вихід підвищуючого перетворювача містить надто багато перешкод, що призводить до збільшення похибок вимірювань.

Індикатор HG1 FYQ3641BH – це чотиризначний семисегментний світлодіодний дисплей з червоним підсвічуванням. Аноди світлодіодів підключені до порту С мікроконтролера, а загальні катоди розрядів — до порту В. Використовується поелементна динамічна індикація: у кожний момент часу мікроконтролер керує лише одним із 32 світлодіодів, що дозволяє обійтись без

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

розрядних ключів та резисторів у ланцюгах. Максимальний струм імпульсів, що генеруються мікроконтролером, не перевищує 15 мА.

Хоча на схемі застосовано індикатор FYQ3641BH із загальними катодами розрядів, в запропонованому міліметрі без змін апаратної частини та програмного забезпечення можна використовувати і аналогічний індикатор із загальними анодами. Програма автоматично визначить тип індикатора під час запуску, встановлюючи високий рівень на виводі RC0 і низькі рівні на розрядних виводах RB4–RB7. Аналоговий вхід AN4 (той же RC0) за допомогою АЦП вимірює напругу, і за її значенням визначається конфігурація індикатора — без потреби у додаткових зовнішніх компонентах.

Управління динамічною індикацією реалізовано через обробку переривань від таймера TMR1, які виникають кожні 512 мкс. Цикл індикації охоплює 32 таких періоди (16,384 мс), що відповідає частоті оновлення близько 61 Гц. Яскравість світлодіодів достатня для комфортного сприйняття, незважаючи на невеликий середній струм через кожен елемент.

При відкритому польовому транзисторі VT1 через опір Rx, що вимірюється, протікає струм приблизно 45 мА, заданий резисторами R9 та R1. Цей струм подається постійно протягом усього циклу вимірювання, що допомагає зменшити вплив ємнісних та індуктивних складових повного опору об'єкта на точність вимірювання.

Захист пристрою від перенапруги на вході реалізовано за допомогою резисторів R1, R2, R5, діодів VD1, VD4 та стабілітрона VD2. Діод Шотткі VD4 обмежує позитивну напругу між щупами А і Б до 250 мВ, що є критично важливим при вимірюваннях на платах, заповнених електронними компонентами. Перевищення цього порогу може призвести до відкривання і пошкодження малопотужних напівпровідникових елементів, підключених паралельно об'єкту вимірювання.

Операційний підсилювач DA1.2 підсилює дуже низький сигнал, який знімається з опору Rx — іноді менше десятих мілівольта.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Програмно задається коефіцієнт підсилення: 67 або 16,8. Це досягається зміною логічного рівня на виході AN1, при якому резистори R6 і R8 з'єднуються паралельно. Оскільки при роботі динамічної індикації в лінії AN1 виникають перешкоди, на час вимірювання програма відключає її.

Оскільки споживання струму ОП MCP602 дуже незначне, його живлення здійснюється безпосередньо з виводу RA4 мікроконтролера, на якому встановлюється високий рівень напруги. Щоб компенсувати зміщення в характеристиці операційного підсилювача, на його вхід подається зовнішнє позитивне зміщення з дільника напруги R2R3. Це зміщення програмно вимірюється і враховується при розрахунку результату. Також через резистор R6 формується потенціал, що дозволяє визначити стан розімкнення щупів приладу.

Контроль напруги елемента живлення G1 здійснюється через вивід RC7 мікроконтролера через ланцюг R4–VD3. Резистор R4 обмежує паразитний струм під час динамічної індикації, а діод Шотткі VD3 мінімізує зворотний струм у батарею в режимі сну. Незначна напруга (близько 20 мВ), що падає на діоді при малому струмі (до 0,5 мкА), програмно компенсується, тому вона не впливає на точність вимірювань.

У сплячому режимі високий рівень напруги подається на елементи індикатора HG1 і його розряди, що повністю вимикає дисплей. Прилад переходить у режим сну, якщо протягом 40 секунд щупи А і Б залишаються розімкненими або з'єднані між собою. Мікроконтролер прокидається періодично кожні ~150 мс завдяки сигналам сторожового таймера. Якщо стан щупів не змінюється, прилад повертається у сплячий режим. Як тільки виявляється зміна – пристрій автоматично переходить у робочий режим. Це рішення дозволяє обійтися без кнопки або вимикача живлення для запуску мікроконтролера.

4.8.Розробка друкованої плати

Друкована плата (ДП) – це основа для створення електронних пристроїв, яка забезпечує механічне кріплення та електричне з'єднання електронних компонентів за допомогою провідних доріжок, контактних майданчиків та інших елементів, виготовлених на ізоляційному матеріалі.

Вона виготовляється з ізоляційного матеріалу, зазвичай склотекстоліту, на поверхню якого нанесені провідні доріжки з міді. Ці доріжки формують електричні кола, що з'єднують елементи між собою відповідно до заданої схеми.

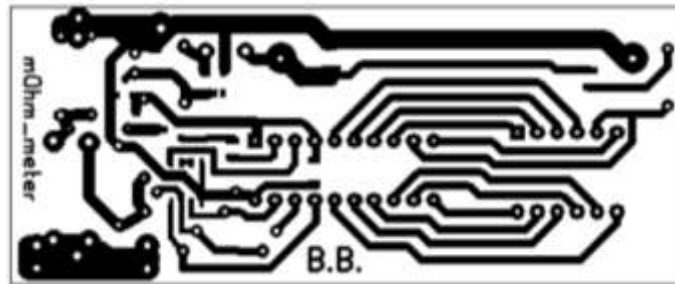
Існують кілька типів друкованих плат залежно від складності конструкції. Найпростіші – це односторонні плати, на яких провідні доріжки розташовані лише з одного боку. Вони використовуються у нескладних пристроях, таких як зарядні пристрої або прості пульти керування. Двошарові плати мають доріжки з обох боків і з'єднуються між собою перехідними отворами, що дозволяє створювати щільніші схеми. Багатошарові плати складаються з декількох провідних шарів, розділених ізоляційними шарами. Вони використовуються у складних пристроях, таких як комп'ютери чи телекомунікаційне обладнання. Окрім цього, існують гнучкі друковані плати, виконані на основі гнучких матеріалів, та жорстко-гнучкі, які поєднують в собі ділянки як гнучкої, так і твердої основи.

Для розробки друкованих плат використовується спеціальне програмне забезпечення. Одним із таких середовищ є Sprint-Layout. Це проста та інтуїтивно зрозуміла програма, яка дозволяє швидко створювати макети друкованих плат. Вона підтримує розведення односторонніх і двосторонніх плат, має зручні інструменти для розміщення доріжок, отворів і контактних майданчиків. Користувач може створювати власні шаблони компонентів або використовувати вбудовані. Програма також дозволяє експортувати файли у форматі Gerber, які необхідні для професійного виготовлення плати на виробництві, а також має функцію попереднього перегляду плати в об'ємному вигляді.

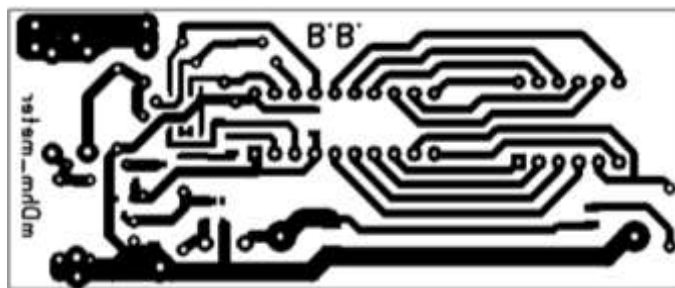
					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Sprint-Layout часто використовують радіоаматори, розробники прототипів і інженери для швидкої розробки та підготовки плат до виготовлення. Програма не вимагає глибоких знань схемотехніки, але надає всі необхідні інструменти для створення простих і середньої складності друкованих плат. Вона ідеально підходить для проєктів, де важлива швидкість та зручність роботи.

Друкована плата міліомметра представлена на (рис.4.14 а,б).



а



б

Рисунок 4.14 – Друкована плата міліомметра: *а – зовнішня сторона плати; б – дзеркальне відображення*

Плата виготовлена з урахуванням специфіки хімічного субтрактивного методу виробництва. Згідно з вимогами ГОСТ 2.3751-86 для даного пристрою було обрано четвертий клас точності виготовлення друкованої плати. Розміри плати відповідають стандарту ГОСТ 10317-79, який передбачає максимальні габарити для односторонніх плат до 600×600 мм. Поточні розміри плати, що складають 85×35 мм, повністю відповідають цьому стандарту.

Як матеріал основи використовується склотекстоліт СФ-2-50-2 відповідно до ОСТ 4.077.000 і ГОСТ 10316-78, товщиною 2 мм.

Крок координатної сітки було вибрано 1,25 мм згідно з ГОСТ 24140-78 та з урахуванням особливостей електричної схеми.

Формування провідного малюнка здійснюється фотохімічним методом. Номінальні діаметри монтажних отворів визначені згідно з вимогами виробництва та компонування елементів на платі. Загальна висота пристрою не перевищує 25 мм, а живлення здійснюється від джерела з напругою 1,5 В.

4.9. Розрахунок похибок під час вимірювання опору омметром

Було проведено десять повторних вимірювань опору резистора $R = [1.01, 1.00, 1.02, 1.01, 1.01, 1.00, 1.01, 1.02, 1.00, 1.01]$ Ом на омметрі з класом точності 0,02 у діапазоні 0 – 6,45 Ом.

За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне $\bar{R}$ за формулою:

$$\bar{R} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i = 1.009; \quad (4.1)$$

2) похибки повторних вимірювань ΔR_i та ΔR_i^2 за формулами;

$$\Delta R_i = |\bar{R} - R_i| \text{ та } \Delta R_i^2 = (\bar{R} - R_i)^2, \text{ де } i=1,2, \dots, 10; \quad (4.2)$$

Результати вимірювань та обчислень у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

№ з.п.	R, Ом	ΔR , Ом	ΔR^2 , Ом ²
1	1.01	0.001	0.000001
2	1.00	0.009	0.000081
3	1.02	0.011	0.000121
4	1.01	0.001	0.000001
5	1.01	0.001	0.000001
6	1.00	0.009	0.000081
7	1.01	0.001	0.000001
8	1.02	0.011	0.000121
9	1.00	0.009	0.000081
10	1.01	0.001	0.000001
сер.	1.009		0.000490

- 3) Для довірчої ймовірності 0.95 та $n = 10$ використаємо коефіцієнт Стьюдента:

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти Стьюдента t_{pm}

n	Надійня ймовірність P								
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99
10	0.13	0.26	0.54	0.90	1,42	1,89	2,36	3,00	3,50

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{8*7} \sum_{i=1}^8 (\bar{R} - R_i)^2} = 0.00233 \quad (4.3)$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B R = 2.36 * 0.00233 = 0.0055 \text{ Ом} \quad (4.4)$$

(Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.5.)

- 4) похибку приладу за формулою (4.5): $\Delta_{пр} R = \frac{1}{300} t_p k R_{гр}$. Для надійної ймовірності $P=0,95$ з табл. 3.3 знайдемо $t_{0,95}=2,0$. Враховуючи, що за умовою $R_{гр} = 6,5 \text{ Ом}$, а клас точності $k = 0,002$, отримаємо:

Таблиця 4.5.

t_p	P	t_p	P
0.1	0.07966	1.6	0.89040
0.5	0.38292	2.0	0.95450
0.7	0.51607	2.2	0.97219
1.0	0.68269	2.4	0.98360
1.3	0.80640	2.6	0.99068

$$\Delta_{пр} R = \frac{1}{300} * 2 * 6,5 * 0,002 = 0,0000867 \text{ Ом} \quad (4.7)$$

- 5) похибку заокруглення за формулою (4.6): $\Delta R_3 = P \frac{h}{2}$. Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду вимірюваної величини – 0,0005. Отже:

$$\Delta R_3 = 0.95 \frac{0.0005}{2} = 0.000475 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

- 6) загальну абсолютну похибку за формулою:

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta_B R)^2 + (\Delta_{\Pi} R)^2 + (\Delta_3 R)^2} = \sqrt{0.0055^2 + 0,0000867^2 + 0.000475^2} = 0.00552 \quad (4.6)$$

(За правилом «трьох сигм» похибками приладу та заокруглення нехтуємо.)

7) відносну похибку за формулою:

$$\delta R = \frac{\Delta R}{\bar{R}} * 100\% = \frac{0.00552}{1.009} * 100 = 0.55\% \quad (4.7)$$

Записуємо кінцевий результат:

$$R = (1.009 \pm 0.00551) \text{ Ом при } \delta R = 0.55\% \quad (4.8)$$

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1. Розробка алгоритму

Для написання програми розробимо спочатку алгоритм рис.5.1.

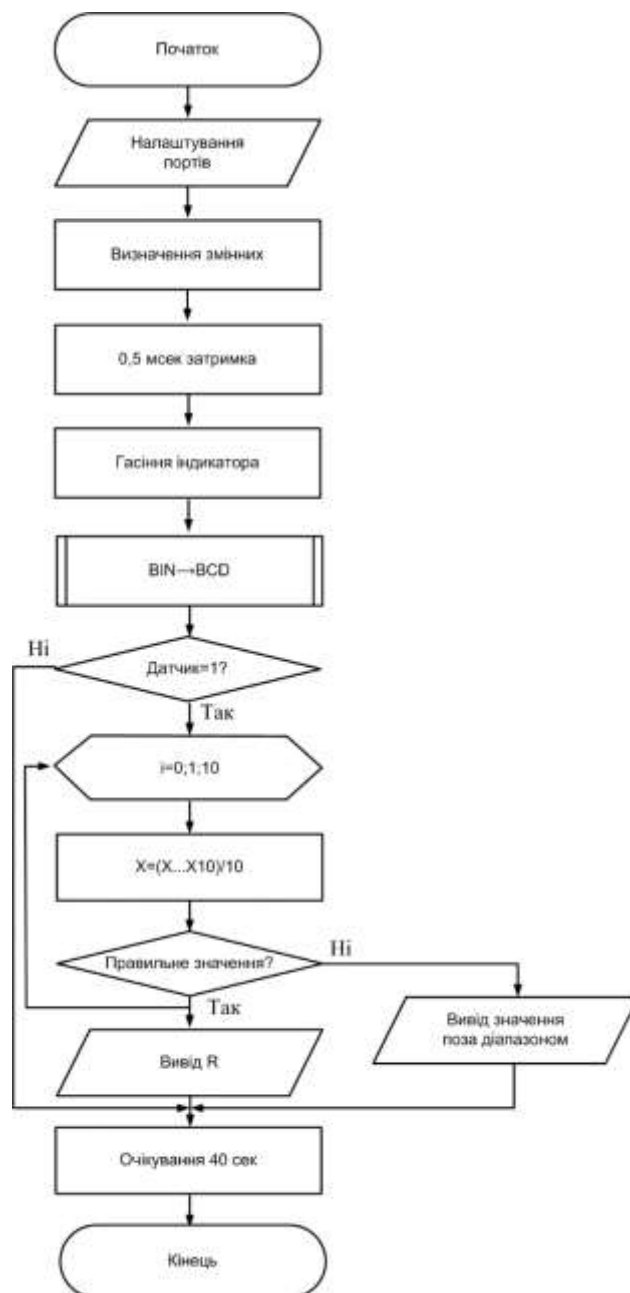


Рисунок 5.1 – Алгоритм програми

Блок «Початок» відповідає за виведення системи з режиму сну. Далі виконується блок «Налаштування портів», у якому до виходів мікроконтролера RC0–RC7 та RB4–RB7 підключаються лінії індикатора. Виводи AN0–AN2, а також RA4 і RA5 з’єднуються з операційним підсилювачем, а вивід MCLR – з

емітером транзистора. Після конфігурації портів ініціалізуються змінні та директиви, такі як `#define Bs`, `#define _D1`, `#define portb_sign0_pin`, `#define A_direct RA0`, а також змінні типів `const unsigned char`, `unsigned char`, `int`, `short`. Затримка в 0,5 секунди дає мікроконтролеру час зреагувати на подію.

Блок «Гасіння індикатора» виконується для очищення пам'яті в разі наявності застарілих даних. Потім працює блок «BIN→BCD», у якому двійкові значення перетворюються в десяткові для виведення на дисплей.

Далі блок «Датчик=1?» перевіряє, чи спрацював сенсор. Якщо відповідь позитивна, активується блок «i=0;1;10», який проводить 10 послідовних вимірювань. Отримані значення передаються в блок «X=(X...X10)/10», де обчислюється середнє арифметичне. Після цього система перевіряє, чи входить результат у допустимий діапазон. Якщо так, відбувається виведення значення опору на дисплей через блок «Вивід R». У разі виходу за межі допустимого діапазону активується блок «Вивід значення поза діапазоном», який повідомляє про помилку.

Якщо умова блоку «Датчик=1?» не виконується, запускається блок «Очікування 40 сек», у якому система чекає на реакцію сенсора. Якщо за цей час сигнал не надходить, виконується блок «Кінець», що вимикає індикатор і повертає пристрій у режим сну.

5.2. Розробка програми

Для мікроконтролерів PIC існують різні середовища програмування, але найбільш поширеними є MPLAB IDE, оскільки в цьому середовищі в найкращій мірі реалізовані всі необхідні можливості з управління апаратними засобами мікроконтролерів.

MPLAB – це інтегроване середовище розробки (IDE), створене компанією Microchip Technology для програмування та налагодження мікроконтролерів PIC, dsPIC і AVR. Це потужна платформа, яка включає редактор коду,

компілятор, симулятор, а також засоби для відлагодження програм безпосередньо на апаратному забезпеченні.

У MPLAB IDE є зручний інтерфейс для створення, редагування та компіляції проєктів на мові програмування C або Assembler. Крім того, середовище підтримує використання відладчиків, таких як PICkit або ICD, що дозволяє розробникам перевіряти роботу свого коду в режимі реального часу. Середовище також надає інструменти для графічного налаштування периферії через MCC (MPLAB Code Configurator), що значно пришвидшує процес розробки навіть для новачків.

MPLAB є безкоштовним і підтримується безліччю сучасних мікроконтролерів Microchip. Його регулярне оновлення гарантує підтримку нових пристроїв та сумісність з сучасними компіляторами, зокрема MPLAB XC8, XC16, XC32.

Для розробки програмного забезпечення нашої вимірювальної системи ми обираємо саме середовище MPLAB, оскільки воно забезпечує повну підтримку мікроконтролерів Microchip, має зручний функціонал для налаштування периферії та налагодження програм, дозволяє ефективно керувати проєктом і значно спрощує розробку як для початківців, так і для досвідчених інженерів.

Текст розробленої програми представлений нижче (налаштування) та основний код представлений в Додатку А.

```
// define pins to segments -----
#define Bs (1<<RC0)
#define Fs (1<<RC1)
#define As (1<<RC2)
#define Ds (1<<RC3)
#define Hs (1<<RC4)
#define Cs (1<<RC5)
#define Es (1<<RC6)
#define Gs (1<<RC7)
//----- define signes -----
#define _D1 (Bs|Cs)
#define _D2 (As|Bs|Ds|Es|Gs)
#define _D3 (As|Bs|Cs|Ds|Gs)
#define _D4 (Bs|Cs|Fs|Gs)
#define _D5 (As|Cs|Ds|Fs|Gs)
#define _D6 (As|Cs|Ds|Es|Fs|Gs)
#define _D7 (As|Bs|Cs)
#define _D8 (As|Bs|Cs|Ds|Es|Fs|Gs)
```

```

#define _D9 (As|Bs|Cs|Ds|Fs|Gs)
#define _D0 (As|Bs|Cs|Ds|Es|Fs)
#define _U (Bs|Cs|Ds|Es|Fs)
#define _u (Cs|Ds|Es)
#define _P (As|Bs|Es|Fs|Gs)
#define _Top As
#define _Bottom Ds
#define _Middle Gs
#define _Space 0
#define _S (As|Cs|Ds|Fs|Gs)
#define _O (As|Bs|Cs|Ds|Es|Fs)
#define _o (Cs|Ds|Es|Gs)
#define _C (As|Ds|Es|Fs)
#define _c (Ds|Es|Gs)
#define _A (As|Bs|Cs|Es|Fs|Gs)
#define _L (Ds|Es|Fs)
#define _I (Bs|Cs)
#define _F (As|Es|Fs|Gs)
#define _t (Ds|Es|Fs|Gs)
#define _n (Cs|Es|Gs)
#define _E (As|Ds|Es|Fs|Gs)
#define _r (Es|Gs)
#define _H (Bs|Cs|Es|Fs|Gs)
#define _i Cs
#define _b (Cs|Ds|Es|Fs|Gs)
#define _d (Bs|Cs|Ds|Es|Gs)
// define PORTB pins
//control common pins of indicator
#define portb_sign0_pin RB7
#define portb_sign1_pin RB4
#define portb_sign2_pin RB5
#define portb_sign3_pin RB6
//-----
// Define PORTA pins
// ADC inputs
#define A_direct RA0 // Only
#define A_OPAMP RA2 // RA0 - RA2!!!
// PORTA pins
#define A_Uop RA4 //
#define A_mosfet RA5 // for mosfet on/off
#define A_Kop RA1 //
// Mosfet on/off
#define Mos_off PORTA = (1<<A_mosfet)|(1<<A_Uop)
#define Kop_set_2 TRISA |= (1<<A_Kop)
//U_bat
#define Bat 9 // battery measure pin - only AN8-AN11 (8-11)
// Components of scheme defines
#define Kop_1 66996 //65.49 * 1023
#define Kop_2 16828 //16.45 * 1023 OPAMP gian
#define R_ref 68680 // Reference resistor nominal (mOhm)
// The work option
#define Time_to_sleep 40 // time to sleep (sec.)
#define Time_to_calibrate 30 // time to calibrate (sec.)

```

6.ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ

6.1.Розрахунок надійності розробленого пристрою

Безвідмовність – це властивість обладнання, пристрою чи системи зберігати працездатність безперервно протягом визначеного часу або до завершення заданого обсягу роботи без виникнення вимушених зупинок. Вона є однією з ключових характеристик надійності виробу та оцінюється за певними показниками, які визначаються з урахуванням типу обладнання і умов його експлуатації.

Оцінювання надійності систем здійснюється за допомогою математичних методів, зокрема шляхом аналізу розподілу випадкових величин, що описують відмови. Розрахунок надійності проводять на різних етапах: ще під час проектування, під час випробувань на виробництві або у процесі реальної експлуатації.

Під час розрахунку надійності застосовуються певні припущення й обмеження. Наприклад, у випадку аналізу раптових відмов часто передбачається, що потік відмов є найпростішим, тобто задовольняє умовам стаціонарності, незалежності подій та одиничності (ординарності) подій.

Типова процедура розрахунку надійності передбачає послідовний підхід: аналізується функціональна схема системи, визначаються взаємозв'язки між її компонентами, система ділиться на окремі частини — підсистеми, вузли, агрегати. Далі формулюється поняття відмови для кожного елемента, складається структурна схема для розрахунків, заповнюється таблиця надійності та обчислюються кількісні показники надійності як для окремих компонентів, так і для системи загалом.

Кліматичні характеристики:

- робочий діапазон температури від -25 до 55°C, відносна вологість повітря до 80% при 20 °C;
- конструктивно виконано для роботи в приміщенні.

Склад виробу – комп'ютерезована система внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відмовлення будь-якої складової частини приладу (вузла), що приводить до некоректної роботи виробу і неможливості використання його по призначенню.

Розрахунок надійності спроектованого приладу проводиться з відповідністю до електрично принципової схеми виробу і з обліком заданих кліматичний категорії і виконання виробу.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу розраховується по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i, \quad (6.1)$$

де n – загальне число групи КВ, що входять до складу проектованого виробу; $N_i \lambda_i$ – кількість і інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи відповідно.

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі розраховується по формулі

$$\lambda_i = \lambda_{oi} a_i \dots a_n. \quad (6.2)$$

де λ_{oi} – інтенсивність відмовлень КВ в номінальному режимі і нормальних умовах; $a_i \dots a_n$ – поправочні коефіцієнти, що враховують умови роботи (кліматичні і механічні впливи в залежності від призначення й умов майбутньої роботи), електричне навантаження і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1.

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 13 таблиці 6.2):

$$\lambda = 68,71 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t \quad (6.3)$$

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де λ – параметр потоку відмовлень; t – час роботи виробу (год)

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
0,9794	0,9593	0,9396	0,9202	0,8468	0,6600	0,5143	0,4355

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

$$T_0 = \lambda^{-1} \quad (6.4)$$

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо

$$T = (68,7078 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14554 \text{ г.}$$

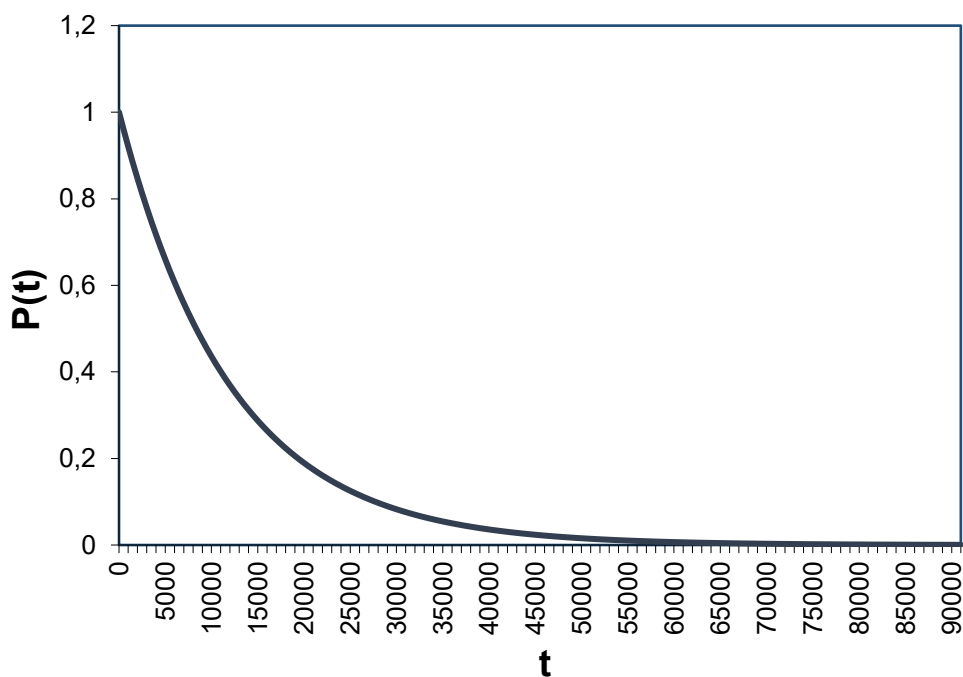
На графіку, приведеному на рисунку 6.1 приведена залежність надійності $P(t)$.

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$\lambda_{i0} \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку λ_i	Коефіцієнти				$\Sigma \lambda_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Конденсатори				a_1	a_2		a_4	
	МКР Х2 1мкФ 275В	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0336
	220мкФ 160В (16х31,5) TKR- 105С	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0336
	10мкФ 16В	4	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,1344
2	Резистори				a_1	a_2		a_4	
	0,68Ом 5Вт	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	CF-25(C1-4)0.25Вт, 470 Ом	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	1 МОм 1Вт 5%	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	100 Ом 0,5Вт 5%	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	CRL-5W 3,3кОм	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	68 Ом 0,25Вт 5%	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	51 кОм 2Вт 5%	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	1 кОм 1Вт 5%	2	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	10 кОм 2Вт 5%	1	0,008	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02688
3	Мікроконтролер				a_1	a_2	a_4	a_6	
	PIC16F690	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,819
4	Транзистори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	IPLML6302	1	0,3	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	0,819
5	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	1N4002	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,0294
	1N5818	2	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1			1	0,0588

Продовження таблиці 6.1

	1N4728A	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,0294
	1N5817	1	0,02	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,0294
6	Дросель				a_1	a_2	a_4	a_6	
	RLB0914-560KL, 56 мкГн	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,294
7	Стабілізатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	XC6206P301	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,294
8	Перетворювач напруги				a_1	a_2	a_4	a_6	
	NCP1402SN33	1	0,4	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,588
9	Операційний підсилювач				a_1	a_2	a_4	a_6	
	MCP602	1	0,7	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,911
10	Індикатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	FYQ3641	1	0,2	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	0,42
11	Пайки	120	0,0001	$\lambda_0 \cdot a_1$	2,1				0,0252
12	Батарея 1,5В	1	30	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
13	Роз'єм	2	0,01	$\lambda_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,0546
	Разом								68,7078

Рисунок 6.2 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t

7.ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1.Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності. Її метою є створення безпечних і здорових умов праці, запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та нещасним випадкам на виробництві.

Охорона праці в Україні регламентується низкою нормативно-правових актів, серед яких основними є:

1. Закон України «Про охорону праці» – базовий законодавчий акт, що визначає загальні принципи державної політики у сфері охорони праці, права та обов'язки роботодавців і працівників, організацію управління охороною праці, фінансування, контроль та відповідальність.

2. Кодекс законів про працю України (КЗпП) – містить окремі статті, що регулюють трудові відносини з питань охорони праці, зокрема обов'язки роботодавця щодо забезпечення безпечних умов праці.

3. Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання» – визначає механізм компенсації шкоди, завданої працівнику внаслідок професійної діяльності.

4. Закон України «Про охорону здоров'я» — встановлює вимоги до збереження здоров'я працівників у сфері праці.

5. Нормативні акти з охорони праці, затверджені центральними органами виконавчої влади (наприклад, накази Міністерства охорони здоров'я, Міністерства економіки, Держпраці тощо) — визначають конкретні вимоги безпеки в різних галузях.

6. Державні санітарні норми та правила (ДСН, ДСП, ДСанПіН) – регламентують гігієнічні вимоги до умов праці.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, охорона праці — це не лише сукупність заходів для зниження ризиків на робочому місці, а й ціла система правового регулювання, що забезпечує безпечні умови праці та соціальний захист працівників.

7.2. Аналіз умов праці на робочому місці

Аналіз умов праці включає всебічну оцінку факторів, що впливають на безпеку, здоров'я та ефективність працівників, які займаються проектуванням, тестуванням і налагодженням системи.

По-перше, слід врахувати фізичні умови робочого місця — рівень освітленості, що має бути достатнім для точного монтажу та перевірки електронних компонентів; рівень шуму, який повинен бути мінімальним, щоб не відволікати і не викликати втоми; температура і вологість повітря, які повинні підтримуватися в комфортних межах для запобігання перегріванню обладнання та збереження здоров'я персоналу.

По-друге, велике значення має електробезпека, оскільки робота пов'язана з електричними колами і живленням. Необхідно забезпечити надійне заземлення обладнання, використання захисних пристроїв від перенапруг і струмів витоку, а також дотримання правил експлуатації електронних приладів, щоб уникнути ураження електричним струмом.

По-третє, оцінюються ергономічні параметри робочого місця, що включають зручність розміщення компонентів, приладів та інструментів, комфортність положення працівника під час тривалої роботи, а також організацію простору для зменшення фізичного навантаження і підвищення продуктивності.

Також важливими є аспекти санітарії і гігієни праці: контроль за чистотою робочої зони, правильне зберігання і утилізація матеріалів, уникнення контакту з шкідливими речовинами, які можуть використовуватися при виготовленні друкованих плат або пайці.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Не можна ігнорувати психологічний фактор – навантаження, монотонність роботи, час відпочинку, що впливають на концентрацію уваги і запобігають професійній втомі.

В результаті такого аналізу розробляються рекомендації щодо покращення умов праці, впровадження засобів індивідуального захисту, регламентів безпеки, оптимізації робочих процесів. Це дозволяє створити безпечне і ефективне середовище для розробників та операторів комп'ютеризованої системи внутрішньосхемних вимірювань, що підвищує якість роботи і знижує ризики виробничих травм і професійних захворювань.

Робоче місце розробника оснащено ергономічним столом з регульованою висотою, що дозволяє працювати як сидячи, так і стоячи, щоб знизити статичне навантаження на спину. Освітлення забезпечується комбінованим світлом: загальне рівномірне освітлення з ламп денного світла та локальна світлова панель над робочою поверхнею, що мінімізує тіні та забезпечує чіткість при монтажі дрібних елементів.

Температура в приміщенні підтримується в межах 22–24 градусів Цельсія, а вологість повітря – на рівні 40–60%, що сприяє комфортній роботі з електронними компонентами, не допускає накопичення статичної електрики.

Для забезпечення електробезпеки всі робочі пристрої заземлені, встановлено пристрої захисту від перенапруги. Працівники використовують антистатичні браслети під час роботи з платами, а також рукавички, що запобігають контакту зі шкідливими речовинами та паяльним приладдям.

Рівень шуму у приміщенні не перевищує 50 дБ, що відповідає нормам для офісних і лабораторних робочих місць. Звукоізоляція вікон і дверей запобігає проникненню сторонніх шумів.

Для запобігання професійній втомі передбачені регулярні перерви кожні 1,5–2 години, а також зона відпочинку з комфортними меблями та доступом до води. Оператор має доступ до якісного стільця з підтримкою попереку.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

В робочому приміщенні регулярно проводиться прибирання для уникнення пилу, який може пошкодити електронні компоненти. Використовується вентиляція з фільтрами для очищення повітря.

Усі ці умови сприяють підвищенню продуктивності, безпеці та здоров'ю персоналу, зменшенню кількості помилок і пошкоджень компонентів, що важливо для якісної розробки та тестування системи внутрішньосхемних вимірювань.

7.3.Розробка заходів з охорони праці

Розробка заходів з охорони праці для роботи з комп'ютеризованою системою внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків.

Передусім, слід забезпечити безпечні умови електробезпеки. Для цього рекомендується використання обладнання із захистом від перенапруги, наявність заземлення для всіх електронних пристроїв, а також застосування антистатичних засобів – браслетів, килимків і рукавичок, щоб уникнути ушкодження компонентів і електричних ударів. Персонал повинен пройти інструктаж з правил безпечного поводження з електронікою та мати допуск до роботи.

Друге – організація робочого місця з урахуванням ергономіки. Робочі столи і стільці мають бути регульованими по висоті, щоб працівник міг займати правильне положення тіла. Необхідне належне освітлення — комбіноване загальне і локальне, що зменшить напругу очей і допоможе точно виконувати виміри.

Третє – контроль мікроклімату в приміщенні. Температура і вологість мають відповідати санітарним нормам, щоб забезпечити комфорт та зберегти працездатність співробітників, а також уникнути негативного впливу на точність вимірювань.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Четверте – дотримання режиму праці і відпочинку. Впровадження перерв кожні 1-1,5 години для зниження втоми і підвищення концентрації уваги, що особливо важливо при роботі з дрібними деталями і електронікою.

П'яте – організація регулярного прибирання робочої зони, щоб уникнути накопичення пилу, який може зашкодити як здоров'ю персоналу, так і працездатності електронних компонентів.

Шосте – забезпечення навчання персоналу з охорони праці, пожежної безпеки і дій у надзвичайних ситуаціях. Регулярні інструктажі та перевірки знань мають стати обов'язковими.

Таким чином, впровадження цих заходів гарантує безпечні та комфортні умови роботи, знизить ризики травм і поломок обладнання, що позитивно вплине на якість розробки і надійність роботи системи внутрішньосхемних вимірювань.

7.4. Пожежна безпека приміщення

Для приміщення, де експлуатується комп'ютеризована система внутрішньосхемних вимірювань опору електронних блоків, необхідно забезпечити належний рівень пожежної безпеки, що відповідає специфіці обладнання та умовам роботи.

Передусім, у приміщенні має бути встановлено первинні засоби пожежогасіння – вогнегасники відповідного типу (пінні, вуглекислотні або порошкові), які легко доступні та розташовані на видних місцях. Періодично проводяться перевірки їх технічного стану та термінів придатності.

Система електропостачання повинна бути грамотно спроектована і захищена від коротких замикань та перенавантажень — з обов'язковим використанням автоматичних вимикачів і захисних пристроїв. Всі електричні кабелі мають бути ізоляційно захищені і прокладені з урахуванням норм пожежної безпеки, без перехрещень і пошкоджень.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Приміщення має бути забезпечене достатнім рівнем вентиляції для запобігання накопиченню диму і шкідливих газів у випадку займання. Рекомендується наявність пожежної сигналізації та аварійного освітлення для безпечної евакуації.

Робочі поверхні та меблі мають бути виготовлені з матеріалів, що не підтримують горіння або оброблені вогнезахисними засобами. Забороняється зберігання легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин у робочому приміщенні.

Періодично проводяться навчання персоналу з правил пожежної безпеки, відпрацювання дій при пожежі та евакуації. Всі співробітники мають знати розташування пожежного обладнання і виходів.

Таким чином, дотримання цих вимог забезпечить зниження ризику пожежі, оперативне реагування у випадку загоряння та гарантуватиме безпеку працівників і збереження обладнання системи внутрішньосхемних вимірювань.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У даній роботі представлено проектування комп'ютеризованої системи для внутрішньосхемного вимірювання опору електронних блоків. На відміну від існуючих міліомметрів і мікроомметрів, які забезпечують високу точність при вимірюваннях низьких опорів, запропонована система має переваги в автоматизації процесу, зборі, збереженні та обробці даних, що значно підвищує продуктивність та ефективність вимірювань.

У ході роботи було виконано аналіз сучасних приладів для вимірювання опору, наведено технічні характеристики розробленої системи та розглянуто варіанти реалізації її основних функціональних блоків. Проєкт охоплює всі ключові елементи: блок живлення, схеми перетворення напруги, модуль задання вимірювального струму та інші вузли.

Було спроектовано структурну та принципову схеми системи, а також розроблено конструкцію друкованої плати міліомметра. В якості основного контролера обрано мікроконтролер PIC16F690-I/P. Реалізовано схему формування вимірювального струму, підібрано відповідні вузли живлення – зокрема, підвищуючий перетворювач на основі NCP140SN33, стабілізатор XC6206P301, а також елементи індикації – індикатор FYQ3641BH.

Окрім апаратної частини, було розроблено програмне забезпечення, алгоритм його роботи, а також виконано розрахунок надійності системи, яка становить 14 554 годин безвідмовної роботи.

У розділі з охорони праці проведено аналіз умов праці на робочому місці, описано заходи для забезпечення безпеки працівників та організовано вимоги щодо пожежної безпеки, з урахуванням особливостей експлуатації електронного обладнання.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міліомметр СЕМ DT-5300В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/milliommetr-cem-dt-5300b-izmeritel-soprotivleniya-zazemleniya.php>.
2. Цифровий мікроомметр UNI-T UT620A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/tsifrovoy-mikroommetr-uni-t-ut620a.php>.
3. Прецизійний міліомметр (110VAC) Extech 380460 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flagma.ua/precizionny-milliommetr-110vac-extech-380460-o2815036.html>.
4. Мікроомметр MI 3242 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.souz-pribor.ru/catalog/energy_laboratory/mikroommetry-milliommetry-ommetry/mi-3242.
5. Мікроконтролери в електротехнічних системах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19120/A22-95-184.pdf>.
6. Блок живлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://corelamps.com/elektormontazhne-obladnannia/blok-zhyvlennia>.
7. Що таке стабілізатор напруги [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itechua.com/other/52624>.
8. Що таке роз'єми і для чого вони потрібні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tcom-group.com/ua/poleznaya-informaciya/chto-takoe-razyomy-i-dlya-chego-oni-nuzhny>.
9. Індикатор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%B4%D0%B8%D0%B0%BE%D1%80>.
10. Build Your Own Low-Resistance Meter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.allaboutcircuits.com/projects/build-your-own-low-resistance-meter>.
11. Мікроконтролер PIC16F690-I/P. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001262F.pdf>

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

12.Лужні батарейки Duracell AAA[Електронний ресурс]. – Режим доступу:https://brain.com.ua/ukr/Batareyka_Duracell_AAA_MN2400_LR03_12_81417119-p110617.html.

13.XC6206P301DR Datasheet(PDF) 1 Page – Torex Semiconductor [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/349386/TOREX/XC6206P301DR/155/1/XC6206P301DR.html>.

14. Стабілізатор напруги NCP140SN33[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/datasheets/ncp1400a-d-84862.pdf>.

15.Роз'єм типу "BANAN" [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://microteh.ck.ua/index.php>.

16. Індикатор HG1 FYQ3641BH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://voron.ua/catalog/011192-indikator_4_razryada_036krasnyy_yarkiy_obshchiy_katod_fyq-3641_as-21.

17.Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» - Житомир: ДУ «Житомирська Політехніка», 2021.

					МІВТ 480.002.031–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63