

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
бакалавра
на тему:

**Мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності
електронних схем**

Виконав: студент 2 курсу, групи МТК-3
спеціальність 152 «Метрологія та
інформаційно вимірювальна техніка»
Сокол Артем Вікторович
(прізвище та ініціали)

Керівник д.е.н., к.т.н.професор,
Єфіменко Н.А.
Рецензент к.т.н., доцент кафедри
комп'ютерної інженерії ШЕЛУХА
Олексій
(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

Житомир 2024

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

Кафедра Метрології та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Метрології та інформаційно-вимірювальна техніка

д.т.н., професор, Подчашинський Ю.О.

“ 5 ” квітня 2024 р.

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

Соколу Артему Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем

керівник роботи Єфіменко Надія Анатоліївна

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “5” квітня 2024 року №128/с

2. Строк подання студентом роботи “20” червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи функції комп'ютеризованої системи: визначення індуктивності компонентів, вмикання та вимикання пристрою, обнулення даних, калібрування, виводу даних на дисплей, підключення вимірюваних компонентів вручну.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технічне завдання, огляд та аналіз методів вимірювання, розробка структурної та принципової схеми, розробка програми та алгоритму, конструкторська частина, безпека життєдіяльності та охорона праці

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

7. Дата видачі завдання 5.04.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підготувати звіт про переддипломну практику	05.04.2024– 11.04.2024	
2.	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих методів визначення індуктивності компонентів електронних схем	17.04.2024 – 24.04.2024	
3.	Ознайомитись з основними принципами побудови систем визначення індуктивності компонентів електронних схем	25.04.2024 – 02.05.2024	
4.	Розробка структурної схеми системи визначення індуктивності компонентів електронних схем	03.05.2024 – 10.05.2024	
5.	Розробка принципової схеми системи визначення індуктивності компонентів електронних схем	11.05.2024 – 18.05.2024	
6.	Вибір компонентів для визначення індуктивності компонентів електронних схем	19.05.2024 – 26.05.2024	
7.	Розробка блок-схеми алгоритму та програми визначення індуктивності компонентів електронних схем	27.05.2024- 03.06.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та креслень	04.06.2024 - 10.06.2024	

Студент _____
(підпис)

А.В. Сокол
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Н.А. Єфіменко
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем» складається з 61 сторінки, 24 рисунків, 6 таблиць, 11 формул, 31 джерела.

В роботі проводиться опис аналогів та актуальність створення пристрій для контролю індуктивності.

Проведено аналіз існуючих пристроїв вимірювання індуктивності. Описані функції пристрою та зроблений вибір елементної бази. Побудована структурна та принципова схема пристрою контролю індуктивності. Прорахована точність пристрою та надійності. На базі складових компонентів та принципової схеми побудована друкована плата. Для роботи пристрою розроблений алгоритм роботи програми та код програми.

ANNOTATION

The qualification of the bachelor's work on the topic "Microprocessor device for controlling the inductance of electronic circuits" consists of 61 pages, 24 figures, 6 tables, 11 formulas, 31 sources.

The paper describes analogues and the relevance of creating a device for inductance control.

An analysis of existing inductance measuring devices was carried out. The functions of the device are described and the selection of the element base is made. The structural and principle diagram of the inductance control device is constructed. Calculated device accuracy and reliability. A printed circuit board is built on the basis of the constituent components and the schematic diagram. An algorithm for the operation of the program and a program code have been developed for the operation of the device.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	7
1.1. Призначення та область застосування та умови експлуатації.....	7
1.2. Технічні умови експлуатації.....	7
1.3. Технічні параметри системи.....	7
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ	8
2.1. Аналіз методів вимірювання.....	8
2.2. Огляд та аналіз існуючих технічних рішень.....	9
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	16
3.1. Обґрунтування та вибір типу мікроконтролера.....	16
3.2. Обґрунтування та вибір типу стабілізатора напруги.....	18
3.3. Обґрунтування та вибір типу дисплея.....	19
3.4. Обґрунтування та вибір типу реле.....	20
3.5. Обґрунтування та вибір типу кварцового резонатора.....	21
3.6. Обґрунтування та вибір типу тактової кнопки.....	23
3.7. Обґрунтування та вибір типу акумулятора.....	24
3.8. Розробка структурної схеми комп'ютеризованої системи.....	25
4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ.....	27
4.1. Вибір мікроконтролера.....	27
4.2. Вибір стабілізатора напруги.....	28
4.3. Вибір дисплея.....	29
4.4. Вибір реле.....	30
4.5. Вибір кварцового резонатора.....	32
4.6. Вибір кнопки.....	33
4.7. Вибір катушки індуктивності.....	33
4.8. Вибір акумулятора.....	34
4.9. Побудова принципової електричної схеми.....	35
4.10. Розрахунок похибки вимірювання.....	38

					МММТ.480.004.026 - ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	Мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Арквнів
Розробив	Сокол А.В.						5	61
	Ефіменко Н.А.							
Рецензен						ДУ «Житомирська політехніка», МТК-3		
Н. контр.								
Затверд.	Подчашинськи							

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ.....	43
5.1. Розробка алгоритму	43
5.2. Розробка програми.....	44
6. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	46
6.1. Розробка друкованої плати.....	46
6.2. Розрахунок надійності системи.....	48
7. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54
7.1. Охорона та аналіз умов праці на робочому місці.....	54
7.2. Охорона праці при роботі з мультиметром.....	56
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Вимірювання індуктивності залишається актуальним з кількох причин:

Точне знання індуктивності компонентів критично важливе для розробки фільтрів, резонансних контурів, трансформаторів тощо.

Вимірювання допомагає перевірити відповідність котушок та інших індуктивних елементів заявленим характеристикам.

Зміна індуктивності може вказувати на несправності в електричних системах.

Вимірювання індуктивності ліній електропередач важливе для оцінки їх параметрів та ефективності.

Деякі датчики використовують зміну індуктивності для вимірювання фізичних величин.

Точне налаштування антен та ВЧ-схем вимагає знання їх індуктивних властивостей.

В якості аналогів таких пристроїв можна розглядати простий мультиметр, який маззвичай поєднує багато функцій вимірювання. Сучасний мультиметр здатен вимірювати різноманітні електричні параметри.: напруга, струмом, опір, ємністю, індуктивність, вологість та температуру. Не всі мультиметри мають всі ці функції. Набір можливостей залежить від моделі та класу приладу. Тому вимірювання індуктивності може бути відсутнє. Це і є основним недоліком мультиметра.

Метою роботи є розробка мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем.

Для вирішення мети потрібно виконати такі завдання:

- Розробка структурної схеми пристрою індуктивності;
- Розробка принципової схеми та друкованої плати;
- Розробка алгоритму та коду програми;
- Розрахунок точності та надійності.

					МММТ 480.004.0126 – ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Призначення та галузь застосування

Мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем призначений для вимірювання індуктивності електричних елементів окремих, а також вже вбудованих схем.

Застосовується в сфері електротехніки та електроніки.

1.2. Технічні умови експлуатації

- Відносна вологість - не більше 80 % при температурі +25 град.С.
- Атмосферний тиск 600-800 мм. рт. ст.
- Характер роботи циклічний.

Режими роботи системи: включення/виключення, обнулення даних, калібрування, вимірювання індуктивності та ємності, вивід вимірянних значень на дисплей.

Система є ремонтпридатна.

1.3. Технічні параметри системи

Тактова частота мікропроцесора: 32 мГц.

Підключення вимірюваних компонентів вручну.

Споживча потужність не більше 10 Вт.

Джерело живлення: 9В.

Напрацювання на відмову складає не менше 10000 годин.

Похибка вимірювання не більше 3% .

Роздільна здатність вимірювання індуктивності: 0,14 мГн.

Пристрій складається з уніфікованих елементів. Вихід з ладу будь-якого елемента відбувається заміною аналогічним елементом по номінальному ряду.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						7
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

2.1 Аналіз методів вимірювання

Індуктивність та ємність є основними параметрами електричних компонентів, таких як котушки (індуктивності) і конденсатори (ємності). Для вимірювання цих параметрів існують різні методи. Ось кілька з них:

Звісно, я можу надати аналіз методів вимірювання індуктивності. Ось огляд основних підходів:

1. Мостовий метод:

- Принцип: Використання мосту змінного струму (наприклад, міст Максвелла-Віна).

- Переваги: Висока точність, особливо для великих індуктивностей.

- Недоліки: Складність налаштування, чутливість до зовнішніх завад.

2. Резонансний метод:

- Принцип: Вимірювання резонансної частоти LC-контур.

- Переваги: Простота реалізації, підходить для широкого діапазону індуктивностей.

- Недоліки: Точність залежить від якості використовуваних конденсаторів.

3. Метод вольтметра-амперметра:

- Принцип: Вимірювання напруги та струму на котушці при відомій частоті.

- Переваги: Простий та швидкий метод.

- Недоліки: Менш точний, особливо для малих індуктивностей.

4. Цифрові LCR-метри:

- Принцип: Автоматизоване вимірювання на основі векторного аналізу імпедансу.

- Переваги: Висока точність, швидкість, зручність використання.

- Недоліки: Висока вартість обладнання.

5. Метод порівняння:

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		8

- Принцип: Порівняння невідомої індуктивності з еталонною.
- Переваги: Може бути дуже точним при правильному виборі еталону.
- Недоліки: Потребує наявності точних еталонних індуктивностей.

Вибір методу залежить від потрібної точності, діапазону вимірювань, доступного обладнання та специфіки завдання.

Різноманітні техніки вимірювання можна використовувати як самостійно, так і поєднувати для визначення індуктивності та ємності компонентів. Точність результатів значною мірою залежить від врахування кількох факторів:

Умови середовища: температура, вологість та електромагнітні завади можуть впливати на вимірювання.

Паразитні ефекти: небажані індуктивності та ємності, які виникають у схемах та провідниках, потрібно брати до уваги.

Налаштування обладнання: правильна конфігурація вимірювальних пристроїв критично важлива для достовірності даних.

Комплексний підхід, який враховує ці аспекти, дозволяє отримати найбільш точні та надійні результати при вимірюванні індуктивності та ємності. Вибір конкретної методики або їх комбінації залежить від специфіки завдання та доступних ресурсів.[1]

2.2 Огляд сучасних вимірювачів індуктивності та ємності

Тестер напівпровідників ESR RLC частотомір генератор сигналів GM328A HW-849A (рис.2.1) . Тестер напівпровідникових елементів, ESR-метр, RLC-метр, частотомір, генератор прямокутних та імпульсних сигналів (1-99%) на базі ATmega328/HW-849A (у DIP-корпусі).

Технічні характеристики:

- Автоматична ідентифікація компонентів, цоколів;ки;
- Англomовне меню із вибором функцій
- Діапазони виміру: опір: до 50 МОм (точність 0.1 Ом);

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						9
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

- Місткість: 25 пФ - 100 мФ (точність 1 пФ);

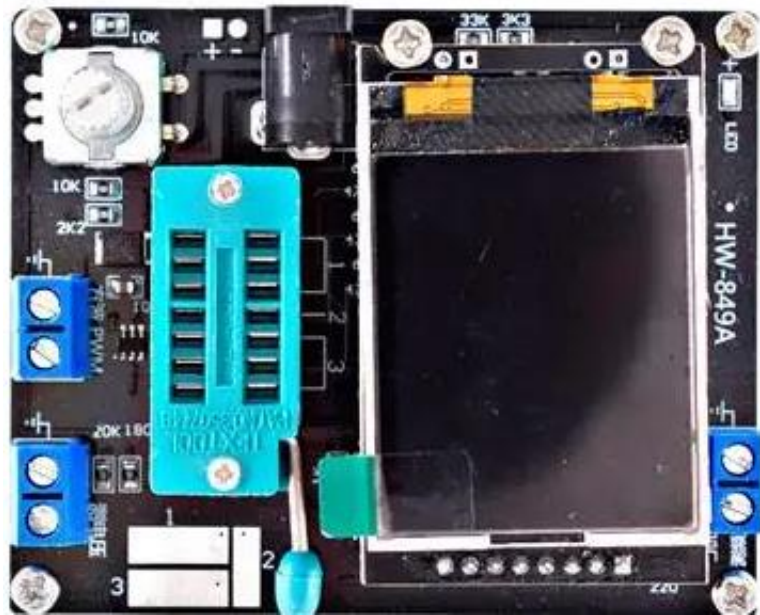


Рис. 2.1 – Тестер напівпровідників ESR RLC GM328A HW-849A

- Індуктивність: 0,01 мГн - 20 Гн (точність 1%);;
- Частота: 1 Гц – 2 МГц
- Вимірювання напруги (постійної): до 50 В;
- Дисплей: 1.8", 160 x 128, з можливістю вибору кольору тексту та фону;;
- Живлення: 6.8-12 В (через адаптер під "Крону" або 5.5 x 2.1 мм роз'єм)
- Розмір плати: 7.9 x 6.4 см. [2]

Мультиметр Mastech LCR-метр MS5308 представлений на рис.2.2.

Мультиметр Mastech LCR-метр MS5308 - це професійний інструмент для вимірювання індуктивності, ємності і опору з безліччю особливостей, в тому числі автоматична ідентифікація, автоматичний вибір межі вимірювання, високі точність і швидкість вимірювання, широкі діапазони вимірювання і т.д. У той час як звичайний мультиметр при вимірюванні опору забезпечує тільки режим постійного струму, прилад MS5308 дозволяє працювати в режимах як змінного, так і постійного струму. В режимі змінного струму для кращої

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		10

відповідності наявним потребам при вимірюванні індуктивності, ємності і опору в приладі передбачений набір різних тестових частот аж до 100 КГц.



Рис. 2.2. Мультиметр Mastech LCR-метр MS5308

Функціональні можливості мультиметр LCR-метра MS5308:

- функції вимірювання;
- ємність конденсаторів;
- опір;
- індуктивність;;
- Вимірювання R / L / C окремо
- Вимірювання опору в режимі постійного струму;
- Відображення значень D / Q / θ / ESR на додатковому дисплеї;
- Можливість вибору вимірювання з послідовним або паралельним підключенням;
- підсвічування дисплея;
- Функція утримання даних;

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		11

- Індикація низького заряду батареї.

Технічні характеристики мультиметра:

- екран 19999 і 1999-розрядний РК дисплей;
- живлення батарея типу АА 1.5В х 8 шт.;
- Габарити 224 х 172 х 58 мм;
- вага 841 г;
- індуктивність: 200.00 Гн 0.01 Гн 2.0% + 5; 1 КГц 2000.0 Гн 0.1 Гн 5.0% + 5; 10 КГц 200.00 мкГн 0.01 мкГн 1.0% + 5; 10 КГц 2000.0 мкГн 0.1 мкГн 0.5% + 5; 10 КГц 20.000 мГн 1 мкГн 0.5% + 5; 10 КГц 200.00 мГн 0.01 мГн 1.5% + 5; 10 КГц 2000.0 мГн 0.1 мГн 2.0% + 5; 10 КГц 20.000 Гн 0.001 Гн 5.0% + 5; 100 КГц 20.000 мкГн 0.001 мкГн 1.0% + 5; 100 КГц 200.00 мкГн 0.01 мкГн 2.0% + 5; 100 КГц 2000.0 мкГн 0.1 мкГн 2.0% + 5; 100 КГц 20.000 мГн 1 мкГн 2.0% + 5. [3]

Тестер радіокомпонентів LCR-TC1 представлений на рис.2.3.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		12

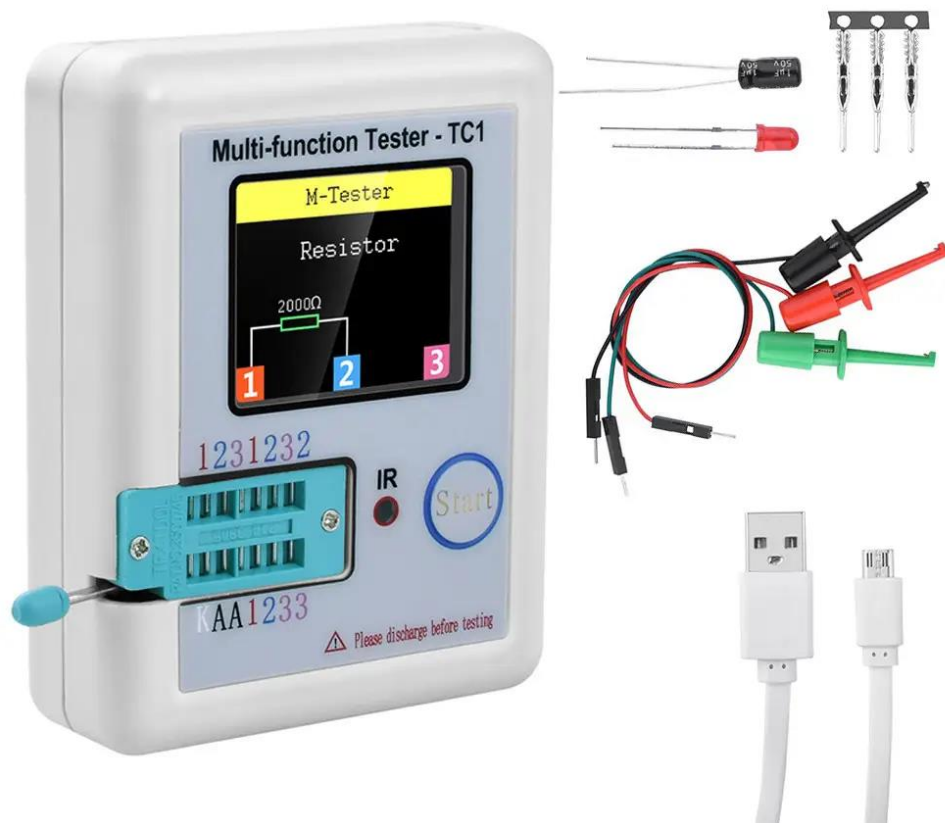


Рис. 2.3. Тестер радіокомпонентів LCR-TC1

Модель універсального тестера радіокомпонентів LCR-TC1 заснована на мікроконтролері ATmega324PA. Цю версію встановлюється кольоровий дисплей TFT 1,8".

Від інших подібних тестерів відрізняється конструкцією у готовому корпусі та наявністю літєвого акумулятора ємністю 350 mAh. Наявністю двох нових функцій: розпізнавання ІЧ посилок від пультів керування та перевірка стабілітронів з напругою до 30 Ст.

Для стабілітронів у панельці є спеціальні контакти, позначені як "К" та "А". Катод та анод відповідно. Підключаємо стабілітрон дотримуючись полярності, тиснемо Start і бачимо параметри.

У тестері зібраний перетворювач на дві вихідні напруги. Одне близько 8 подається на стабілізатор 7805 і йде на живлення цифрової частини. Друге, близько 34 В призначене для перевірки стабілітронів. Тут усе просто, разом із

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дат		13

резистором на 10 ком Стабілітрон утворює параметричний стабілізатор, напруга з якого надходить на вхід МК.

Технічні характеристики:

- 1) Транзистори - Біполярні, Польові;
- 2) Діоди < 4,5 В;
- 3) Діодні зборки 0,01 - 4,5 В;
- 5) Вимірює напругу 0,1 - 4,5 В;
- 6) Тиристори, Симистори - IGT < 6mA;
- 7) Стабілітрони - напруга пробою 0,01 - 30 В;
- 8) Опір (R) - 0 ... 50 МОм, макс. дозвіл 0.01 Ом;
- 9) Конденсатори:
 - Місткість (C) - 0...100000 мкФ, макс. роздільна здатність 0.01 пФ;
 - ESR макс. роздільна здатність 0.01 Ом;
 - Вимірювання втрат $V_{loss}(\%)$;
- 10) Індуктивність (L): 10 мкГн - 20 Гн, макс. роздільна здатність 0.01 мГн;
 - резонансний метод 0.1 МкГн – 2 мГн, макс. роздільна здатність 0.01 мкГн.[4]

Токові кліщі з функцією мультиметра Aneng PN103 представлений на рис.2.4.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Адк.
						14
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		



Рис. 2.4. Токові кліщі з функцією мультиметра Aneng PN103

Токові кліщі з функцією мультиметра Aneng PN103 – це потужний інструмент, який автоматично розпізнає діапазон вимірювання змінного струму від 0.2 до 600A. Прилад має захист від перевантажень по всьому діапазону і може використовуватися для перевірки різних типів електроніки та проводки, а також виявлення та усунення проблем з електрикою.

Діапазони:

- Струм AC/DC: 60A/600A з точністю $\pm(2.5\%+10)$;
- Напруга DC: 600mV/6V/60V/600V з точністю $\pm(0.8\%+5)$;
- Напруга AC: 6V/60V/600V з точністю $\pm(1.0\%+5)$;
- Опір: 600 Ω /6k Ω /60k Ω /600k Ω /6M Ω /60M Ω з точністю $\pm(0.8\%+3)$;
- Місткість: 10 nF/100 nF/1uF/10uF/100uF/1mF/60mF з точністю $\pm(2.5\%+20)$;
- Частота: 10 Hz/100 Hz/1kHz/20 KHz з точністю $\pm(1\%+5)$;

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Адк.
Зм.	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дат		15

– Макс. напруга між вимірювальним терміналом та землею: 700V DC або 600V AC;

– Макс. значення, що відображається: 6000 цифр;

– Перевантаження: Найвища позиція показує "OL";

– Низька напруга: З'являється символ "Низька напруга";

– Живлення: Батарея AAA 1.5V (не включена);

– Додаткові функції: Тестування діодів, NCV, Увімкнення/Вимкнення лінії, Фіксація даних, Автоматичний режим.

– Призначення: ємність, індуктивність, автовимкнення, відносні вимірювання (rel), захист від перевантаження, напруга, опір;

– Підсвічування дисплея;

– Сила струму;

– Тест батарей;

– Тест транзисторів;

– Функція: min/max;

– Тип: Цифрові;

– Країна-виробник товару: Китай;

– Кількість в упаковці, шт 1;

– Гарантія: 6 місяців. [5]

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

3.1 Обґрунтування та вибір типу мікроконтролера

Мікроконтролер - це компактний інтегральний пристрій, який поєднує в собі процесор, пам'ять та периферійні пристрої для управління та управління електронними пристроями або системами. Він використовується для виконання спеціалізованих функцій і завдань, зазвичай в обмеженому просторі з обмеженими ресурсами.

Мікроконтролери широко застосовуються в різних пристроях та системах, таких як побутова техніка (пральні машини, холодильники, мікрохвильові печі), електроніка автомобілів (двигунові контролери, системи безпеки), медична техніка (медичні прилади, імпланти), робототехніка, електронні пристрої споживання (смартфони, планшети) та багато іншого.

Основні складові мікроконтролера включають:

- 1) Процесор: виконує обчислення та керує виконанням програми.
- 2) Пам'ять: зберігає програмний код та дані.
- 3) Введення/вивід (I/O): забезпечує комунікацію мікроконтролера із зовнішніми пристроями, такими як датчики, дисплеї, актуатори.
- 4) Таймери та лічильники: використовуються для здійснення вимірювань часу та лічби подій.
- 5) Аналого-цифрові перетворювачі (ADC): дозволяють зчитувати аналогові сигнали з датчиків і перетворювати їх на цифровий формат.
- 6) Широкополосні інтерфейси: такі як UART, SPI, I2C, Ethernet та USB, для забезпечення комунікації з іншими пристроями та системами.

Мікроконтролери зазвичай програмуються за допомогою спеціальних мов програмування, таких як мова C або асемблер, і вони можуть виконувати специфічні функції, відповідно до програмного коду, який у них зберігається.

Вибір мікроконтролера для системи потребує деякого аналізу та врахування різних факторів. Ось кілька кроків, які можуть допомогти вам у цьому процесі:

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		17

Вимоги системи: Розгляньте функції, які система має виконувати, та необхідні характеристики, такі як швидкість обробки, кількість введених/виведених сигналів, кількість пам'яті, споживання енергії тощо. Врахуйте також фактори, які можуть вплинути на вибір, наприклад, вартість, доступність, розмір та енергоефективність.

Дослідження ринок мікроконтролерів: Дослідження різних виробників мікроконтролерів та їх продуктів. Порівняйте їх технічні характеристики, функціональні можливості, документацію та підтримку. Враховуйте також інші фактори, такі як розширення екосистеми, доступність додаткових модулів та інструментів розробки.

Попередній досвід та експертизу: Якщо є досвід використання певних мікроконтролерів або ви вже маєте розроблені бібліотеки або код для певної платформи, варто розглянути продовження роботи з тим самим або сумісними мікроконтролерами. Також можна звернутися до експертів або спільноти розробників для отримання порад та рекомендацій.

Тести та оцінка: Перед прийняттям залишкового рішення можливо провести тести на вібраних мікроконтролерах або виконати прототипування, щоб переконатися, що вони відповідають вашим вимогам. Оцініть продуктивність, надійність, легкість розробки та інші параметри, які є важливими для вашої системи.

Прийняття рішення: На основі зібраної інформації та результатів оцінки, виберіть мікроконтролер, який найкраще задовольняє ваші потреби та вимоги системи. Упевніться, що ви також врахували фактори, які є важливими для вашого проекту, такі як вартість, доступність компонентів та підтримка.

Необхідно також зазначити, що можливо знадобиться додаткове дослідження та пристосування у процесі розробки, оскільки вимоги та умови можуть змінюватися.[6]

Виходячи з вище описаного проаналізуємо, що нам потрібно робити вимірювання ємності та індуктивності. Для цього достатньо одного щупа, дисплея, батарейки для живлення та для узгодження схеми резисторів та

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Дрк.
Зм.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дат		18

конденсаторів. Тому можна сказати, що підійде простий мікроконтролер з кількістю виводів до 16 пінів. Система дуже проста в функціонуванні, тому достатньо обрати простий та бюджетний PIC мікроконтролер.

3.2 Обґрунтовування та вибір типу стабілізатора напруги

Стабілізатор напруги – це пристрій, призначений для забезпечення сталого рівня напруги живлення в електричній системі, незалежно від змін вхідної напруги або навантаження. Він використовується для захисту підключених пристроїв від небажаних впливів високої або низької напруги, які можуть виникати у мережі електроживлення.

Основні функції стабілізатора напруги включають:

1) Регулювання напруги: Стабілізатори напруги можуть автоматично компенсувати коливання вхідної напруги та підтримувати стабільний вихідний рівень напруги на заданому значенні.

2) Захист від перенапруги: Стабілізатори напруги можуть виявляти та захищати підключені пристрої від надмірного підвищення напруги в електричній мережі, що може пошкодити їх.

3) Захист від недостатнього напруги: Стабілізатори напруги також можуть забезпечувати захист від низької напруги, яка може впливати на роботу підключених пристроїв.

4) Захист від шумів та перешкод: Вони можуть фільтрувати шуми та електромагнітні перешкоди, що передаються через електричну мережу, для забезпечення чистої та стабільної напруги живлення.

5) Стабілізатори напруги можуть мати різні типи, включаючи релейні, електронні (транзисторні) та силові (сервоприводні). Кожен тип має свої особливості, переваги та обмеження, і вибір конкретного типу залежить від потреб вашої системи та умов експлуатації. [7]

Отже, для нашої схеми, щоб узгодити складові елементи з блоком живлення застосуємо стабілізатор напруги.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

3.3 Обґрунтування та вибір типу дисплея

Дисплей – це пристрій, який використовується для відображення інформації, такої як текст, зображення або графіка, зазвичай на плоскій поверхні. Він може бути використаний у різних пристроях та системах, включаючи комп'ютери, мобільні пристрої, електронні прилади, автомобілі, медичні пристрої та інші.

Основні типи дисплеїв включають:

1) Рідкокристалічні дисплеї (LCD): LCD-дисплеї використовують рідкі кристали для створення зображення. Вони можуть бути звичайними одночіповими дисплеями (TFT-LCD) або менш складними, наприклад, символьними LCD, які відображають текст та символи.

2) Органічні світлодіодні дисплеї (OLED): OLED-дисплеї використовують органічні матеріали, що світяться при подачі струму. Вони здатні до високого контрасту, яскравості та широкого угла огляду. OLED-дисплеї можуть бути гнучкими та використовуватися в гнучких пристроях.

3) Електронно-паперові дисплеї (E Ink): E Ink-дисплеї створюють зображення за допомогою електричних зарядів у мікроскопічних капсулах із чорнилом. Вони мають властивості, схожі на папір, і вимагають мало енергії. Ці дисплеї широко використовують у електронних книгах та інших пристроях для відображення тексту.

4) LED-дисплеї: LED-дисплеї використовують світлодіоди (Light Emitting Diodes) для створення зображень. Вони забезпечують яскраве, насичене підсвічування та використовуються у зовнішній рекламі, табло інформації, телевізорах тощо.

При виборі дисплея важливо враховувати такі фактори:

–Розмір і форма: Відповідно до потреб вашої системи, виберіть дисплей з необхідним розміром та формою, яка влаштовує ваші вимоги.

–Роздільна здатність: Визначте, яка роздільна здатність (кількість пікселів) потрібна для вашого застосування, залежно від вимог до якості зображення.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						20
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		

–Кольорова глибина: Якщо вам потрібен кольоровий дисплей, переконайтеся, що вибраний тип дисплея підтримує потрібну кольорову глибину.

–Яскравість та контрастність: Врахуйте середу, в якій буде використовуватись дисплей, та оберіть такий, який забезпечує достатню яскравість та контрастність для зручного перегляду.

–Вхідні інтерфейси: Упевніться, що екран має необхідні вхідні інтерфейси для зв'язку з вашою системою або контролером.

–Вартість: Розгляньте бюджетні обмеження і знайдіть оптимальний баланс між функціональністю та вартістю дисплея.

Вибір дисплея залежить від конкретних потреб проекту та вимог до візуального відображення інформації. В нашому випадку достатньо просто LCD дисплея з інтрефейсом I2c для економії виводів [8].

3.4 Обґрунтування та вибір типу реле

Реле – це електромеханічний пристрій, який використовується для керування електричними сигналами, переключення струму або виконання інших функцій за допомогою електромагнітної сили. Вони можуть бути використані для з'єднання або від'єднання електричних ліній, регулювання потоку струму, забезпечення гальмування, ізоляції сигналів та багато іншого.

Щодо використання реле з мікросхемами, важливо врахувати наступні аспекти:

1) З'єднання реле з мікросхемою: Для керування реле за допомогою мікросхеми зазвичай потрібний додатковий електронний компонент, такий як транзистор або тиристор. Цей компонент використовується для підсилення сигналу мікросхеми та надання достатньої потужності для активації реле.

2) Електричні характеристики: Упевніться, що електричні характеристики реле, такі як робоча напруга та струм, відповідають вимогам вашої мікросхеми та системи. Врахуйте також максимальний струм, який

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		21

може перемикати реле, оскільки це може бути обмеженням для деяких додаткових пристроїв або навантажень.

3) Надійність і тривалість роботи: Оцініть тривалість роботи та надійність реле, особливо якщо воно буде використовуватись у критичних системах або довготривалих додатках.

4) Електромагнітна сумісність (ЕМС): Врахуйте можливі електромагнітні впливи, які можуть виникнути при перемиканні реле, і переконайтеся, що вони не спричинятимуть помах для мікросхеми чи інших чутливих електронних компонентів.

5) Розмір і монтаж: При виборі реле для мікросхеми враховуйте розмір, масу та метод монтажу, щоб вони відповідали вашим потребам та можливостям монтажу в системі.

Важливо проводити відповідні дослідження та враховувати вимоги вашого конкретного додатку перед вибором реле для роботи з мікросхемами.[9]

3.5 Обґрунтування та вибір типу кварцового резонатора

Кварцовий резонатор (кварц) – це електронний компонент, що використовується для стабілізації частоти в електронних пристроях. Він базується на властивостях кварцу, який є п'єзоелектричним матеріалом, тобто здатним генерувати електричні сигнали при зміні механічного навантаження або, наоборот, деформуватися під впливом прикладеного до нього електричного поля.

Кварцовий резонатор складається з кварцового кристала, який зазвичай має форму пластини або генератора годинника. Цей кристал здатний резонувати за певної частоти, яка визначається його геометрією та фізичними властивостями.

Основна принципова дія кварцового резонатора полягає у налаштуванні кварцового кристала на його резонансну частоту, за якої відбувається

максимальна передача енергії. Кварцовий резонатор може бути використаний

					Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат	22

МММТ.480.004.026 - ПЗ

як основний елемент генерації стабільних високочастотних сигналів або як точний референсний джерело часу.

Кварцеві резонатори зазвичай використовують у електронних системах, таких як годинники, мікроконтролери, радіо-, телекомунікаційні та комп'ютерні пристрої, де точність години або стабільність частоти є важливими факторами.

Важливо вибирати кварцовий резонатор з необхідними характеристиками, такими як резонансна частота, температурна стабільність, фазовий шум, спотворення та інші параметри відповідно до конкретних вимог вашої системи.

Використовується для керування електричними сигналами, переключення струму або виконання інших функцій за допомогою електромагнітної сили. Вони можуть бути використані для з'єднання або від'єднання електричних ліній, регулювання потоку струму, забезпечення гальмування, ізоляції сигналів та багато іншого.

Щодо використання реле з мікросхемами, важливо врахувати наступні аспекти:

З'єднання реле з мікросхемою: Для керування реле за допомогою мікросхеми зазвичай потрібний додатковий електронний компонент, такий як транзистор або тиристор. Цей компонент використовується для підсилення сигналу мікросхеми та надання достатньої потужності для активації реле.

Електричні характеристики: Упевніться, що електричні характеристики реле, такі як робоча напруга та струм, відповідають вимогам вашої мікросхеми та системи. Врахуйте також максимальний струм, який може перемикати реле, оскільки це може бути обмеженням для деяких додаткових пристроїв або навантажень.

Надійність і тривалість роботи: Оцініть тривалість роботи та надійність реле, особливо якщо воно буде використовуватись у критичних системах або довготривалих додатках.

Електромагнітна сумісність (ЕМС): Врахуйте можливі електромагнітні

впливи, які можуть виникнути при перемиканні реле, і переконайтеся, що

МММТ.480.004.026 - ПЗ

Дрк.

23

Зм.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дат
------------	-------------	-----------------	---------------	------------

вони не спричинятимуть помах для мікросхеми чи інших чутливих електронних компонентів.

Розмір і монтаж: При виборі реле для мікросхеми враховуйте розмір, масу та метод монтажу, щоб вони відповідали вашим потребам та можливостям монтажу в системі.[10]

Обираємо кварцевий резонатор згідно вибору мікроконтролеру PIC.

3.6 Обґрунтування та вибір типу кнопки тактової

Тактова кнопка, також відома як мембранна кнопка або кнопка з підсвічуванням, є типом електронної кнопки, що використовується для введення сигналів у пристроях та системах. Вона отримала назву "тактова" через свою особливість - при натисканні на кнопку створюється короткий електричний контакт, а потім відбувається повернення кнопки у вихідне положення, при якому з'єднання переривається.

Тактові кнопки мають плоску або куполоподібну форму і розміщені на друкованій платі або мембрані. Вони складаються з двох контактів, які з'єднуються при натисканні на кнопку. При відпусканні кнопки контакти роз'єднуються, відновлюючи вихідний стан.

Тактові кнопки використовуються для виконання різноманітних функцій, таких як ввімкнення або вимкнення пристрою, вибір режимів роботи, навігація в меню, введення даних і т.д. Вони широко застосовуються в різних пристроях, включаючи електронні пристрої споживання, мобільні телефони, планшети, комп'ютери, автомобільну електроніку та багато іншого.

При виборі тактової кнопки варто враховувати такі фактори:

Механічна стійкість: Виберіть кнопку, яка витримає очікувану кількість натискань та має відповідну механічну стійкість.

Електричні характеристики: Упевніться, що електричні параметри тактової кнопки, такі як максимальний струм і напруга, відповідають вимогам вашої системи.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Дрк.
						24
Зм.	Дрк.	№ доквм.	Підпис	Дат		

Фізичні розміри: Виберіть тактову кнопку, яка підходить за розмірами та формою до вашої друкованої плати або мембрани.

Характеристики підсвічування (якщо необхідно): Деякі тактові кнопки мають вбудоване підсвічування, яке може бути корисним для візуального підтвердження натискання або для освітлення кнопки у темряві.[11]

Враховуючи ці фактори, вибираємо просту тактову кнопку, яка буде сумісна з системою.

3.7 Обґрунтування та вибір типу акумулятора

Акумулятор, також відомий як акумуляторна батарея, є пристроєм для зберігання електричної енергії, який може бути перезаряджений. Він складається з одного або кількох елементів, які містять хімічні реакції, що дозволяють зберігати та вивільняти електричний струм.

Акумулятори широко використовують у різних пристроях і системах, таких як мобільні телефони, портативні комп'ютери, електромобілі, сонячні системи, безперебійні джерела живлення (UPS) та багато іншого. Вони надають перевагу порівняно з одноразовими батареями, оскільки можуть бути перезаряджені та використані багато разів, що дозволяє економити гроші та зменшувати відходи.

Вибір акумулятора залежить від конкретних потреб і вимог пристрою чи системи. Ось деякі фактори, які слід враховувати при виборі акумулятора:

Тип акумулятора: Існує кілька типів акумуляторів, таких як літій-іонні (Li-Ion), літій-полімерні (Li-Po), нікель-метал-гідридні (NiMH), свинцево-кислотні (SLA) та інші. Кожен тип має свої особливості щодо ємності, напруги, швидкості заряду, циклічності, ваги та безпеки. Вибір типу акумулятора залежить від ваших потреб, зокрема ємності, тривалості роботи, компактності та інших факторів.

Ємність: Ємність акумулятора вимірюється в міліампер-годинах (mAh) і вказує, скільки годин акумулятор може постачати струм при певному

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

навантаженні. Виберіть акумулятор із відповідною ємністю, яка задовольняє потреби вашого пристрою та тривалість його роботи.

Напруга акумулятора повинна відповідати вимогам пристрою. Напруга акумулятора зазвичай позначено у вольтах (V).

Швидкість заряду: Якщо вам важливо швидко заряджати акумулятор, зверніть увагу на швидкість заряду, вказану в амперах (A) або ватах (W).

Життєвий цикл: Життєвий цикл вказує на кількість повних заряджень-розряджень, які може пройти акумулятор до того, як його ємність почне помітно зменшуватися. Чим більший життєвий цикл, тим довше ви зможете використовувати акумулятор перед його заміною.

Умови використання: Потрібно середовище, в якому буде використовуватися акумулятор. Деякі акумулятори можуть бути більш стійкими до екстремальних температур, вологості або вібрацій, що може бути важливим у певних застосуваннях.

Вибір правильного акумулятора є важливим для забезпечення надійного живлення вашого пристрою або системи.[12]

Для вибору акумулятора, будемо враховувати живлення всієї системи в цілому.

3.8 Розробка структурної схеми комп'ютеризованої системи

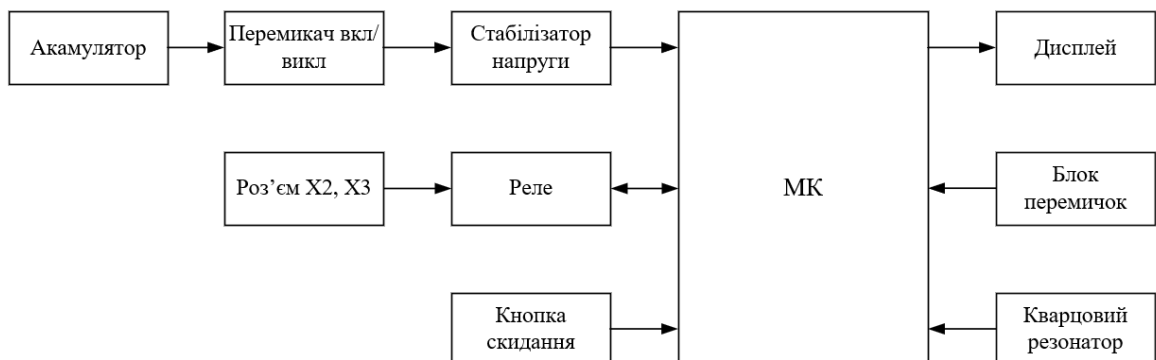


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи схем

Перелік елементів структурної схеми:

- Мікроконтролер для управління пристроєм вимірювання;
- Акумулятора для живлення пристрою;
- Стабілізатора напруги для стабілізації напруги;
- Реле для вибору режиму вимірювання ємності чи індуктивності;
- Роз'єму Х2, Х3 куди підключаються щупи для вимірювання;
- Перемикач включення чи виключення живлення
- Кнопка скидання даних використовується для обнулення, тобто повернення до початкових даних;
- Дисплей для виведення результату вимірювання ємності чи індуктивності;
- Кварцовий резонатор видає електричний імпульс з частотою 32 МГц на вхід мікроконтролера для обробки показів, інформації та обчислення по програмі.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

4.1 Вибір мікроконтролера

При виборі мікроконтролера ключовими факторами були надійність та ефективність роботи. Водночас, суттєвим пріоритетом було обрання найбільш економічно вигідного варіанту МК. Пропонується обрати 8-ми бітний мікроконтролер PIC16F1936 рис.4.1.



Рис. 4.1. Мікроконтролер PIC16F1936

Цей мікроконтролер належить до сімейства PIC16 і відомий своєю енергоефективністю та гнучкістю. Він часто використовується в різноманітних вбудованих системах, включаючи промислову автоматизацію, побутову електроніку та IoT пристрої. PIC16F1936 пропонує широкий спектр функцій і периферійних пристроїв, які роблять його популярним у багатьох застосуваннях.

Сімейство 8-розрядних мікроконтролерів PIC16F19xx виробництва компанії Microchip Technology з удосконаленим ядром Enhanced Mid-range, виконаним за технологією nanoWatt XLP та має надмале енергоспоживання.

Мікроконтролери PIC16F19xx мають до 28 Кб флеш-пам'яті програм та сумісні за висновками з іншими МК сімейств PIC16Cxxx та PIC16Fxxx.

Завдяки новій архітектурі ядра Enhanced Mid-range продуктивність контролерів збільшена на 50%, а введення 49 нових інструкцій підвищує ефективність програмного коду на Cі та асемблері порівняно з попередніми

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		28

сімействами. Працездатність пристроїв зберігається в діапазоні напруги живлення 1,8 - 5,5 В.

Вбудований драйвер LCD дозволяє керувати індикаторами (дисплеями) з кількістю сегментів до 184 та надає енергозберігаючий режим роботи з дисплеєм. Мікроконтролери мають до 5 каналів ШІМ із незалежними таймерами для можливості керування різними двигунами та периферією.

Характеристики PIC16F1936-I/SO:

- Виробник: Microchip;
- Категорія продукту: 8-бітні мікроконтролери;
- Вид монтажу: SMD/SMT;
- Тип корпусу: SOIC-28;
- Серія: PIC16(L)F193x;
- Ядро: PIC;
- Ширина шини даних: 8 bit;
- Максимальна тактова частота: 32 МГц;
- Розмір програмної пам'яті: 14 kB;
- Розмір ОЗУ даних: 512 В;
- Роздільна здатність АЦП: 10 bit;
- Кількість входів/виходів: 25 I/O;
- Робоча напруга живлення: 1.8 V to 5.5 V;
- Робоча температура: - 40 ... +85 C
- Тип пам'яті програм: Flash;;
- Тип інтерфейсу: EUSART, MI2C, SPI
- Кількість каналів АЦП: 11 Channel;
- Кількість таймерів/лічильників: 5 Timer;;
- Серія процесора: PIC16. [13]

4.2 Вибір стабілізатора

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		29

Стабілізатор LM7805 (рис.4.2)/ Класичний параметричний стабілізатор напруги 5В LM7805 у корпусі ТО-220. Перевірений часом та мільйонами аматорських та професійних конструкцій, стабілізатор незамінний у конструкціях, для яких важлива не лише стабільність напруги, а й мінімальний рівень шумів напруги живлення. Просте підключення та мінімальна кількість додаткових зовнішніх компонентів.

Для стабільної роботи стабілізатора необхідно встановити на вході та виході по керамічному та електролітичному конденсатору ємністю від 0.1 до 0.33 мкФ на напругу не нижче напруги відповідного ланцюга..



Рис. 4.2. Стабілізатор LM7805

Основні характеристики стабілізатора LM7805:

- Вихідна напруга: +5 В (стабілізована);
- Вхідна напруга: 7-35 В (рекомендовано);
- Максимальний вихідний струм: 1 А;
- Падіння напруги: приблизно 2 В;
- Точність вихідної напруги: $\pm 4\%$ при кімнатній температурі;
- Захист від короткого замикання
- Захист від перегріву;
- Робоча температура: 0°C до +125°C;
- Корпус: зазвичай ТО-220 (є й інші варіанти);
- Низький рівень шуму на виході;

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

- Не потребує зовнішніх компонентів для базової роботи (хоча рекомендується використання конденсаторів для покращення стабільності);
- Струм спокою: зазвичай близько 5-6 мА.

LM7805 широко використовується в електронних схемах для отримання стабільної напруги 5 В з більш високої вхідної напруги. Він простий у використанні, але слід пам'ятати, що як лінійний регулятор, він може виділяти значну кількість тепла при великій різниці між вхідною та вихідною напругою.

Для стабільної роботи стабілізатора необхідно встановити на вході і виході по керамічному та електролітичному конденсатору ємністю 0,1мкФ і 100,0мкФ на напругу не нижче напруги відповідного кола. [14]

4.3 Вибір дисплея

Дисплей WH1602B (рис.4.3) рідкокристалічний (LCD) дисплей, який часто використовується в різноманітних електронних проектах.. Він має 16 символних полів на 2 рядках, що дозволяє відображати текст та прості графічні символи.

Для використання дисплея WH1602B потрібно підключити його до мікроконтролера або іншого джерела сигналу за допомогою паралельного інтерфейсу. Дисплей має зворотне підсвічування, яке може бути підключене до джерела живлення для активації підсвічування.



Рис. 4.3. LCD Дисплей WH1602B

Основні характеристики дисплея WH1602B:

- Тип: Символьний LCD;
- Розмір: 16 символів x 2 рядки;
- Підсвічування: Зазвичай синє або зелене LED підсвічування (залежить від конкретної моделі);
- Контролер: Сумісний з HD44780 (стандартний контролер для таких дисплеїв);
- Інтерфейс: Паралельний 8-бітний або 4-бітний;
- Напруга живлення: Типово 5В;
- Розмір символу: 5x8 пікселів;
- Кут огляду: Широкий;
- Робоча температура: Зазвичай від 0°C до +50°C;
- Розміри модуля: Приблизно 80x36 мм (може варіюватися);
- Контрастність: Регулюється за допомогою потенціометра;
- Споживання струму: Низьке, зазвичай менше 5 мА без підсвічування.

Управління дисплеєм WH1602B зазвичай відбувається шляхом відправлення команд та даних через інтерфейс до контролера дисплея. Існують різні бібліотеки та приклади коду для різних мікроконтролерів, які можна використовувати для легкого взаємодії з цим дисплеєм. [15]

4.4 Вибір реле

G2RL-24-5DC - це електромагнітне реле виробництва компанії Omron. Воно призначене для використання з постійним струмом живлення 5 Вольт.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		



Рис. 4.4.Реле G2RL-24-DC5

Основні характеристики електромагнітного реле G2RL-24-DC5:

- Контактна група 2С;
- Керуюча напруга ($U_{упр}$) 5 В;
- Тип котушки DC;
- Струм контакту AC (IAC), А 8;
- Комутована напруга ($U_{комAC}$), 250;
- Струм контакту DC (IDC), А 8;
- Комутована напруга ($U_{комDC}$), 24;;
- Тип монтажу РСВ
- Довжина (L), мм 29;
- Ширина (W), мм 12.7;
- Висота (H), мм 15.7;
- Макс. допустима напруга котушки, або (%) 130%;
- Напруга відпускання, або (%) 10%;
- Напруга спрацьовування, або (%) 70%;
- Опір котушки (R), Ом 62.5;
- Потужність (P), мВт 400;
- Час спрацьовування (t_{on}), мс 15;
- Час відпускання (t_{off}), мс 5.

Це реле часто використовується в промислових системах керування, автоматизації будинку, телескомунікатійному обладнанні та інших

					Док.
					33
Зм.	Док.	№ доквм.	Підпис	Дат	

МММТ.480.004.026 - ПЗ

застосуваннях, де потрібно комутувати відносно великі струми за допомогою низьковольтних сигналів керування.

Для підключення електромагнітного реле G2RL-24-DC5 зазвичай потрібно підключити живлення до котушки реле та підключити контакти до схеми комутації. Розпинування та з'єднання реле можуть відрізнятися залежно від конкретної моделі, тому рекомендується ознайомитися з документацією, наданою виробником, для отримання точних вказівок з підключення та використання.[16]

4.5 Вибір кварцового резонатора

С49/U3Н (рис.4.5) резонатор є основною складовою кварцевого генератора. Принцип роботи кварцевого генератора полягає в тому, що кристал, розташований всередині деталі, змушують вібрувати при подачі на нього змінної напруги.



Рис. 4.5. Кварцовий резонатор

Основні характеристики кварцового резонатора HC49/U3H:

- 1) Діапазон частот: Зазвичай доступний у діапазоні від 3 МГц до 70 МГц;
- 2) Точність частоти: Типово ± 30 ppm (parts per million) при кімнатній температурі, але може бути і точніше;
- 3) Температурна стабільність: Зазвичай ± 50 ppm у діапазоні робочих температур;
- 4) Навантажувальна ємність: Зазвичай 12 пФ або 20 пФ (залежить від конкретної моделі);;

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		34

- 5) Еквівалентний послідовний опір (ESR): Залежить від частоти, але зазвичай менше 100 Ом
- 6) Старіння: Типово менше ± 5 ppm на рік;
- 7) Робоча температура: Зазвичай від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$ (може варіюватися);
- 8) Герметичність: Зазвичай герметично запаяний для захисту від вологи та забруднень;
- 9) Допуск резонаторів ± 30 ppm;
- 10) Растр виводів 4,88 мм ;
- 11) Робоча напруга: 3.3 Вольт або 5 Вольт.

Підключення кварцового резонатора HC49/U3H до схеми зазвичай потребує підключення його пінів до відповідних контактів на пристрої.[17]

4.6 Вибір кнопки

Тактова кнопка AMP-X017 – велика тактова кнопка без фіксатора. До кнопки додається кольоровий пластиковий ковпачок, який надійно кріпиться на ній за допомогою клямки.



Рис. 4.6. Кнопка тактова AMP-X017

Технічні характеристики:

- Серія/Типорозмір: 6x6;
- Тип перемикача: Тактова кнопка
- Кількість положень: 2;;
- Кількість стабільних положень: 1;
- Кількість полюсів: 1;
- Контактні групи: SPST

	–	Алгоритм роботи OFF:-(ON);;			МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

- Максимальний Струм; 50 мА;
- Макс. напруга DC: 12 В;
- Загальна висота кнопки: 5.5 мм;
- Орієнтація штовхача: Пряма 180°;;
- Підсвічування: Ні;
- Спосіб ел. монтажу: Пайка в отвори;
- Матеріал корпусу: Пластик;
- Робоча температура; -25°C ... +70°C.[18]

4.7 Вибір катушки індуктивності

Катушка індуктивності B82477 G4823M виробництва компанії TDK (раніше EPCOS) є компонентом силової електроніки.



Рис. 4.7. Катушка індуктивності B82477 G4823M

Катушка індуктивності B82477 G4823M виробництва компанії TDK (раніше EPCOS) є компонентом силової електроніки. Ось основні характеристики цієї катушки:

1. Серія: B82477.
2. Номінальна індуктивність: 82 мкГн (мікрогенрі).
3. Допуск індуктивності: $\pm 20\%$.
4. Номінальний струм: Приблизно 4.7 А (може варіюватися залежно від температури).
5. Опір постійному струму (DCR): Приблизно 0.0478 Ом.
6. Максимальний струм насичення: Близько 5.5 А.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

7. Тип: Екранована (shielded).

8. Розміри: Приблизно 12.5 x 12.5 x 8.0 мм (довжина x ширина x висота).

9. Робоча температура: Зазвичай від -40°C до +125°C.

10. Матеріал осердя: Ферит.

11. Тип намотки: Зазвичай одношарова.

12. Застосування: Часто використовується в DC-DC перетворювачах, фільтрах EMI/RFI, та інших силових схемах

13. Монтаж: Поверхневий монтаж (SMD).

Ця котушка індуктивності розроблена для застосувань, які вимагають високої щільності потужності та ефективності. Вона може витримувати високі струми і має хороші характеристики насичення..[19]

4.8 Вибір акумулятора

Основні елементи, які вживають потужність – це мікроконтролер, реле та дисплей. Для вибору блока розраховують потужність за формулою:

$$P = I * U \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1. – Розрахунок потужності

Елемент	Напруга, U	Струм, I	Потужність, P
Мікроконтролер	5 В	0,25 А	1,25 Вт
Реле	5 В	0,8 А	4 Вт
Дисплей	5 В	0,1 А	0,5 Вт

Для живлення системи використовується лінійний стабілізатор з малою похибкою стабілізації, в якого вхідна напруга від 7В до 25В. За даними, які приведені в таблиці 4.1 та з урахуванням стабілізатора, можна сказати, що акумуляторна батарея на 9 В, 1 А цілком підходить для нашої системи.



Рис. 4.8. Акумуляторна батарея 9 В

4.9 Побудова принципової електричної схеми

Враховуючі структурну схему, обрані складові елементи пристрою, побудуємо принципову схему рис.4.9.

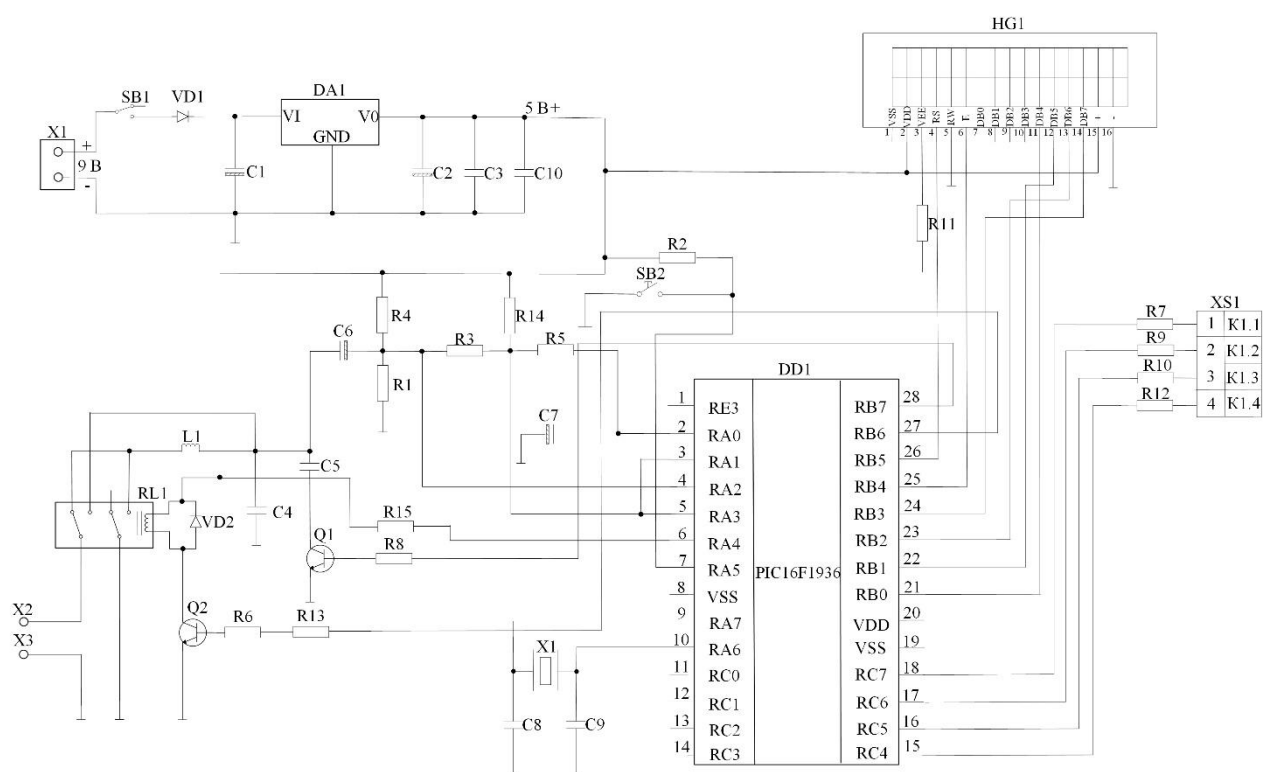


Рис. 4.9 – Принципово-електрична схема комп'ютеризованої системи

Вимірювач індуктивності та ємності є вимірювачем частоти, що має у складі генератор коливальних, який генерує коливання і вимірює величини L або C, після чого обчислюється кінцевий результат. Похибка частоти становить 1

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Дрк.
Зм.	Дрк.	№ док.м.	Підпис	Дат		38

Гц. Лічильник працює на основі математичних рівнянь. Для обох невідомих L та C, рівняння обрахунку є загальними.

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.2)$$

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_{cat})}} \quad (4.3)$$

$$F_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_x)}} \quad (4.5)$$

$$F_4 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(l + l_x)}} \quad (4.6)$$

$$C_x = \frac{\left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2 - 1}{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1} \times C_{cat} \quad (4.7)$$

$$C_x = \left\{ \left(\frac{F_1}{F_4}\right)^2 - 1 \right\} \times \left\{ \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1 \right\} \times \frac{1}{C_{cat}} \times \left(\frac{1}{2\pi F_1}\right)^2 \quad (4.8)$$

Для обох невідомих величин L і C застосовується рівність 4.2 і 4.3. Середні значення F1 ми отримуємо за допомогою LC коливального контуру, потім приєднуємо Ccat паралельно коливальному контуру і отримуємо величину F2.

Одразу після цього

1. Для ємності потрібно знайти величину F3 (рівняння 4.5), залишаючи Cx паралельно коливальному контуру, потім обчислюється Cx з рівняння 4.7

2. Для індуктивності потрібно знайти величину F4 (рівняння 4.6), залишаючи Lx послідовно коливального контуру, потім обчислюється Lx з рівняння 4.8

Після отримання приблизних значень індуктивності або ємності програма автоматично приведе значення до технічних одиниць, які відобразить на рідкокристалічному дисплеї роздільною здатністю 16х2.

Особливо точних компонентів не потрібно, за винятком відомих «зовнішніх» конденсаторів C4, C5, що використовуються для калібрування.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

Два конденсатори по 1000 пФ повинні бути досить гарної якості (важлива, точність та стабільність). Переважно це полістиролові конденсатори. Їх ще називають плівковими, одна з властивостей є здатність до самовідновлення. Якщо при перенарузі стався пробій діелектрика, то через місце пробою починає протікати струм, який розігріватиме металеву плівку біля місця пробою. Поступово розігрівуючись, метал розплавляється та випаровується. В результаті діелектрична міцність відновлюється.

Два конденсатори по 10 мкФ у генераторі повинні бути танталовими (для низького послідовного опору/індуктивності).

Реле слабострумне. Мікроконтролер може забезпечити лише близько 30 мА струму збудження. Реле має "втягуватися" при подачі на котушку 4,5 вольт. Призначене для вибору L або C режиму вимірювання.

Після закінчення процесу загального складання необхідно буде відкалібрувати конструкцію. Калібрування здійснюється за допомогою приєднання стандартного конденсатора. Вимірювач LC повинен зчитувати показання поряд зі своїм значенням (з похибкою до +/- 10%). Перемички K1.1 та K1.2 призначені для збільшення (+) та зменшення (–) значень. Функція вимірювання індуктивності автоматично калібрується під час калібрування функції ємності. Після калібрування максимальна похибка буде близько 1%, що є достатньо для визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем. Джампери можна зняти, тому що мікроконтролер запам'ятає встановленні параметри.

4.10 Розрахунок похибки вимірювання

Виміряти будь-яку величину абсолютно точно неможливо. Завжди наявна похибка. Інтуїтивно зрозуміло, що похибка — це відхилення виміряного значення фізичної величини від точного. Однак, оскільки ми маємо справу з кількісними характеристиками фізичних величин, введемо такі ж характеристики для похибок вимірювання.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						40
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

Похибкою фізичної величини X називають різницю між її істинним x та дійсним $\bar{x}$ значеннями. Зазвичай використовують абсолютну похибку фізичної величини Δx . Це різниця за модулем між її істинним та дійсним значеннями:

$$\Delta x = |x - \bar{x}| \quad (4.9)$$

Абсолютна похибка Δx фізичної величини показує, наскільки істинне значення x фізичної величини відрізняється від дійсного $\bar{x}$. Розмірність абсолютної похибки відповідає розмірності фізичної величини. Користуючись означенням модуля числа вираз можна переписати так:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (4.10)$$

Вираз (4.10) називають кінцевим результатом і записують для числового значення кожної фізичної величини як підсумок виконання.

Однак абсолютна похибка не дає змоги визначити якість вимірювання відносно. Тому вводять відносну похибку, яка характеризує якість вимірювання. Вона показує, яку частину в значенні фізичної величини займає її абсолютна похибка і тому характеризує якість вимірювання.

Відносна похибка δx фізичної величини чисельно дорівнює відношенню абсолютної похибки Δx вимірювання до її істинного значення x .

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x} * 100\% \quad (4.11)$$

Правило «трьох сигм» дає змогу відслідковувати промахи. Якщо похибка i -того вимірювання є більшою за максимально можливу похибку $\Delta x_{\max} = 3 \sigma_v$, то його вважають промахом і відкидають. Під час виконання наукових вимірювань кількість повторних вимірювань незначна ($n < 30$). За таких умов випадкову похибку визначають на підставі закону розподілу випадкових похибок Стюдента за формулою:

$$\Delta_v x = t_{pm} \delta_v \quad (4.12)$$

Для цього розраховують σ_v за (3.17). Коефіцієнт Стюдента t_{pm} визначають з таблиці за вибраною надійною ймовірністю P та кількістю повторних вимірювань $m = n - 1$. Знайдені значення σ_v , t_{pm} підставляють у формулу (4.12).

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						41
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		

Похибку, зумовлену рівнем недосконалості приладу, називають похибкою приладу і визначають за допомогою його класу точності. Клас точності приладу k ґрунтується на понятті відносної зведеної похибки $\delta x_{зв}$. Це похибка, яка чисельно дорівнює відношенню граничної абсолютної похибки $\Delta x_{гр}$ вимірювання до граничного значення приладу $x_{гр}$ і виражена у відсотках:

$$k = \delta x_{зв} = \frac{\Delta x_{гр}}{x_{гр}} * 100\% \quad (4.13)$$

де граничне значення приладу $x_{гр}$ — це максимальне значення, до якого може вимірювати прилад у даному діапазоні; гранична похибка приладу $\Delta x_{гр}$ — максимально допустима похибка, яку дає прилад під час вимірювань.

Під час прямих вимірювань значення x фізичної величини X знаходять безпосередньо з експерименту. Нашою метою буде оцінка околу — надійного інтервалу, в якому із заданою надійною ймовірністю P міститься істинне значення x вимірюваної фізичної величини X .

Випадкова похибка вимірювання $\Delta x_{вип}$ має три складові: випадкову похибку $\Delta x_{в}$, похибку приладу $\Delta x_{п}$ та похибку заокруглення $\Delta x_{з}$. Отже, за умови, що $\Delta x_{сист} = 0$, сумарна похибка Δx дорівнює:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{в})^2 + (\Delta x_{п})^2 + (\Delta x_{з})^2} \quad (4.14)$$

Під час опрацювання результатів експерименту часто доводиться заокруглювати числові значення обчислень та вимірювань. Операція заокруглення дає свій внесок у сумарну похибку і його слід враховувати. Коли відліки показів приладу заокруглюють до цілих значень або часток поділок. За відсутності систематичних похибок максимальна похибка не перевищує $h/2$, де h — інтервал заокруглення. Інтервал заокруглення h може дорівнювати ціні поділки приладу, якщо відлік беруть з точністю до цих поділок.

Похибкою заокруглення називають величину, яку обчислюють за формулою:

$$\Delta x_{з} = P \frac{h}{2} \quad (4.15)$$

де P — задана надійна ймовірність.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дат		

Оцінюючи випадкову похибку приладу, враховують, що вона випадково розподілена у межах інтервалу значень, межі якого визначає гранична похибка приладу. Тому для заданої надійної ймовірності P похибку приладу обчислюють так [21]:

$$\Delta_{\text{пр}} x = t_p \frac{\Delta x_{\text{гр}}}{3} = \frac{1}{300} t_p k x_{\text{гр}} \quad (4.16)$$

де P_t — коефіцієнт, який визначають за надійною ймовірністю P

Нехай проведено десять повторних вимірювань індуктивності катушки $L = \{5,05; 4,93; 4,95; 5,06; 5,07; 5,06; 5,06; 4,95; 4,96; 4,96\}$ мГн на вимірювачі індуктивності та ємності з діапазоні 0 до 10 мГн. За відомими формулами шукаємо:

1) середнє арифметичне L за:

$$\bar{L} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} L_i \cong 5,005$$

2) похибки повторних вимірювань ΔL_i та ΔL_i^2

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

Результати вимірювань та обчислень заносимо у табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

№ з. п.	L, мГн	ΔL , мГн	ΔL^2 , мГн ²
1	5,05	0,045	0,002
2	4,93	0,075	0,006
3	4,95	0,055	0,003
4	5,06	0,055	0,003
5	5,07	0,065	0,004
6	5,06	0,055	0,003
7	5,06	0,055	0,003
8	4,95	0,055	0,003
9	4,96	0,045	0,002
10	4,96	0,045	0,002
сер	5,005	0,055	0,003

3) випадкову похибку вимірювання за (4.12): З таблицею знайдемо коефіцієнт Стьюдента для 10 вимірювань і довірчої ймовірності 0,95 $t_{0,95}=2,31$; розрахуємо за виправлене вибіркове середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{1}{10 \times 9} \sum_{i=1}^{10} (\bar{L} - L_i)^2} \approx 0,058 \text{ мГн}$$

та знайдемо випадкову похибку:

$$\Delta_B L = 2,31 * 0,058 = 0,133 \text{ мГн}$$

4) похибку приладу за (4.16): $\Delta_{\text{пр}} L = \frac{1}{300} t_p k L_{\text{гр}}$. Для надійної ймовірності $P = 0,95$ з табл. 3.3 знайдемо $t_{0,95} = 2,0$. Враховуючи, що за умовою $L_{\text{гр}} = 10 \text{ мГн}$, а клас точності $k = 1$, отримаємо:

$$\Delta_{\text{пр}} L = \frac{1}{300} 2,0 * 10 * 1 \approx 0,06 \text{ мГн};$$

6) похибку заокруглення за (4.15): $\Delta L_3 = P \frac{h}{2}$.

Для цього знайдемо інтервал заокруглення h як половину останнього розряду виміряної величини — 0,05. Отже:

$$\Delta L_3 = 0,95 * \frac{0,05}{2} \approx 0,02 \text{ мГн}$$

6) загальну абсолютну похибку (4.14):

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta_B L)^2 + (\Delta_{\text{п}} L)^2 + (\Delta_3 L)^2} = \sqrt{0,13^2 + 0,06^2 + 0,02^2} \approx 0,14 \text{ мГн}$$

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

7) відносну похибку за (4.11)

$$\delta L = \frac{\Delta L}{\bar{L}} \times 100\% = \frac{0,14}{5,005} \times 100\% \approx 2,79\%$$

Записуємо кінцевий результат:

$$L = (5,005 \pm 0,14) \text{ мГн при } \delta L = 2,79\%$$

Знайдемо абсолютну та відносну похибки, виходячи з поняття середнього арифметичного без використання теорії похибок. Середнє значення відоме: $\bar{L} \cong 5,005 \text{ мГн}$. Знайдемо середню арифметичну похибку $\Delta \bar{L}$ та відносну δL :

$$\Delta \bar{L} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \Delta L_i \cong 0,055 \text{ мГн}$$

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

$$\delta L = \frac{\Delta L}{\bar{L}} * 100\% \approx 1,09\%$$

Запишемо кінцевий результат:

$$L = \bar{L} \pm \Delta \bar{L} = 5,005 \pm 0,055 \text{ мГн при } \delta L = 1,09\%$$

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1 Розробка алгоритму

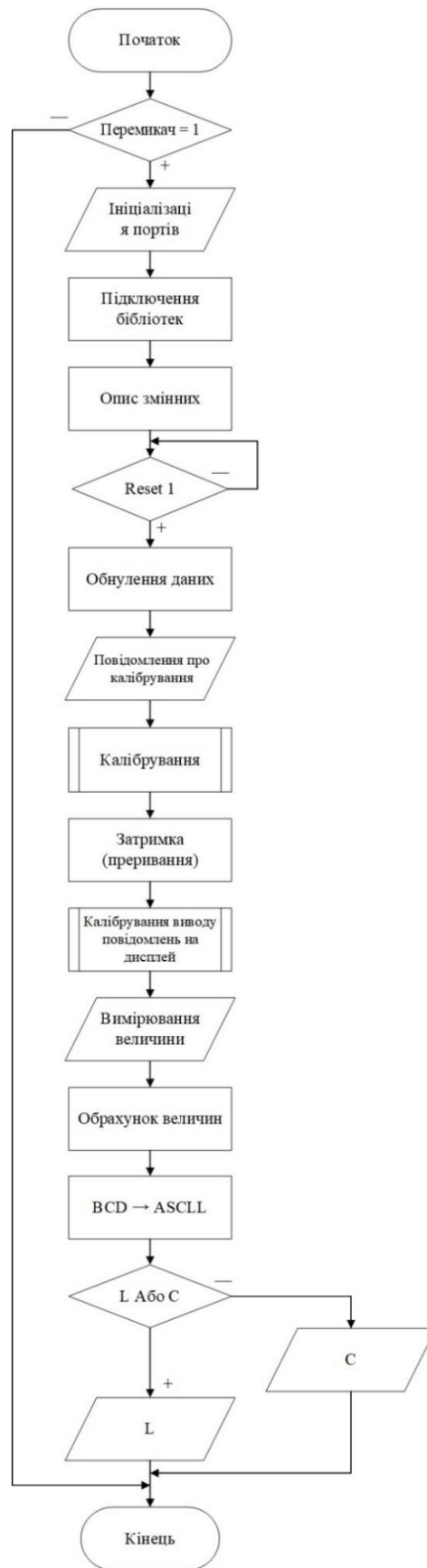


Рис. 5.2 Алгоритм роботи системи виміру індуктивності та ємності

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		46

Принцип роботи системи згідно алгоритму. Початок. При ввімкненні пристрою (перемика =1), відбувається ініціалізація портів, тобто приведення портів у стан готовності. Потім слідує підключення бібліотек основної програми, та присвоювання значення для змінних. Обнулення даних, вивід калібровки на екран, вимірювання калібровочної ємності. Після того йде переривання, тобто сигнал, який повідомляє мікроконтролер про настання події. Вивід значення калібровки, вимірювання величини та її обрахунок. Конвертація коду в символи на дисплеї та вибір індуктивності або ємності. Програма зациклюється та повторюється з моменту опитування датчиків пока не відбудеться вимикання системи. Кінець.

5.2 Розробка програми

Програма для контролера – це набір машинних кодів, записаний у файлі з розширенням «hex» (), який і потрібно заливати в контролер за допомогою програматора. Ніякої іншої мови контролер не розуміє. Отже, потрібна спеціальна програма, яка буде перекладати текст програми, написаний на будь-якій мові програмування, в машинні коди. Найбільш зручними в цьому плані є інтегровані середовища розробки (IDE - integrated development environment), оскільки вони можуть не тільки здійснювати переклад тексту програми в машинний код, а й виробляти симуляцію її роботи. Причому симуляцію можна проводити покроково, при цьому можна спостерігати стан регістрів або міняти їх.

Середовищем розробки було обрано MPLAB - це IDE від самого виробника PIC-контролерів – фірми Microchip, дозволяє писати програми на двох мовах: Сі і Асемблер.

Асемблер є набором елементарних команд, які виконуються контролером. Кожна команда трактується в машинний код абсолютно однозначно, а результат її виконання і час виконання завжди однакові. Іншими словами можна абсолютно точно сказати, що робить контролер в кожен

МОМЕНТ					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док. 47
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

часу і яким саме чином досягається потрібний результат.

У випадку з асемблером, вивчається сам контролер і правила, за якими треба розмовляти з контролером. При цьому контролер має всього-то кілька десятків команд, які вміщуються на одному листку і їх легко можна оглянути одним поглядом.[22]

Текст розробленої програми представлений в Додатку А.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		

6 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

6.1 Розробка друкованої плати

Печатна плата (PCB) є основною компонентою багатьох електронних пристроїв. Вона служить для з'єднання та підключення електронних компонентів на платформі, що складається з ізольованої основи та провідних доріжок, які створюють електричні з'єднання між компонентами.

Основні етапи процесу виготовлення друкованих плат включають:

Схемотехнічне проектування (Schematic Design): Створення електричної схеми, яка визначає з'єднання та взаємодію між компонентами на платі.

Розміщення компонентів (Component Placement): Визначення місця розташування кожного компонента на платі з урахуванням функціональності, розміру, теплових властивостей та інших факторів.

Планування доріжок (Routing): Створення провідних доріжок, які з'єднують компоненти на платі. Доріжки забезпечують електричні з'єднання та відповідні сигнальні шляхи.

Виробництво (Manufacturing): Виготовлення фізичної плати шляхом застосування процесів фотолітографії, нарізки, покриття та інших технологій. Цей процес може включати використання спеціальних обладнань та хімічних речовин.

Монтаж компонентів (Component Assembly): Після виготовлення плати, електронні компоненти монтується на відповідні місця на платі. Цей процес може виконуватися вручну або за допомогою автоматизованих машин.

Тестування (Testing): Після збирання плати та монтажу компонентів проводиться тестування, щоб переконатися, що плата функціонує належним чином і відповідає специфікаціям.

PCB можуть мати різні форми, розміри та кількість шарів, в залежності від конкретних вимог проекту. Вони широко використовують у електронних пристроях, включаючи комп'ютери, мобільні пристрої, телекомунікаційну апаратуру, медичні пристрої та багато інших.

					Апк.
					49
Зм.	Апк.	№ док.	Підпис	Дат	

МММТ.480.004.026 - ПЗ

Друковані плати можуть бути виготовлені спеціалізованими компаніями, які надають послуги з проектування та виготовлення РСВ, або можуть бути створені самостійно з використанням спеціального програмного забезпечення для проектування РСВ. [22]

Для виготовлення друкованої плати був обраний комбінований позитивний метод. Відповідно до нормативу вибрано четвертий клас точності друкованої плати. Габаритні розміри становлять 85 x 85 мм., висота пристрою не більше 20 мм. Матеріал склотекстоліт товщиною 2 мм, основа його становить скловолокно, листи якого просякнуті термореактивним епоксифенолом. Відстань між сусідніми лініями координатної сітки встановлюється відповідно до ГОСТу - 1,25 мм. Спосіб нанесення малюнка за методом виготовлення - фотохімічний. Номінальне значення діаметрів монтажних отворів для елементів схем дорівнює 0,5 мм $d = 0,9$ мм. Монтажних отворів для роз'єму: $d = 1,5$ мм.

Друкована плата вимірювача індуктивності та ємності приведені на рис. 6.1. а,б

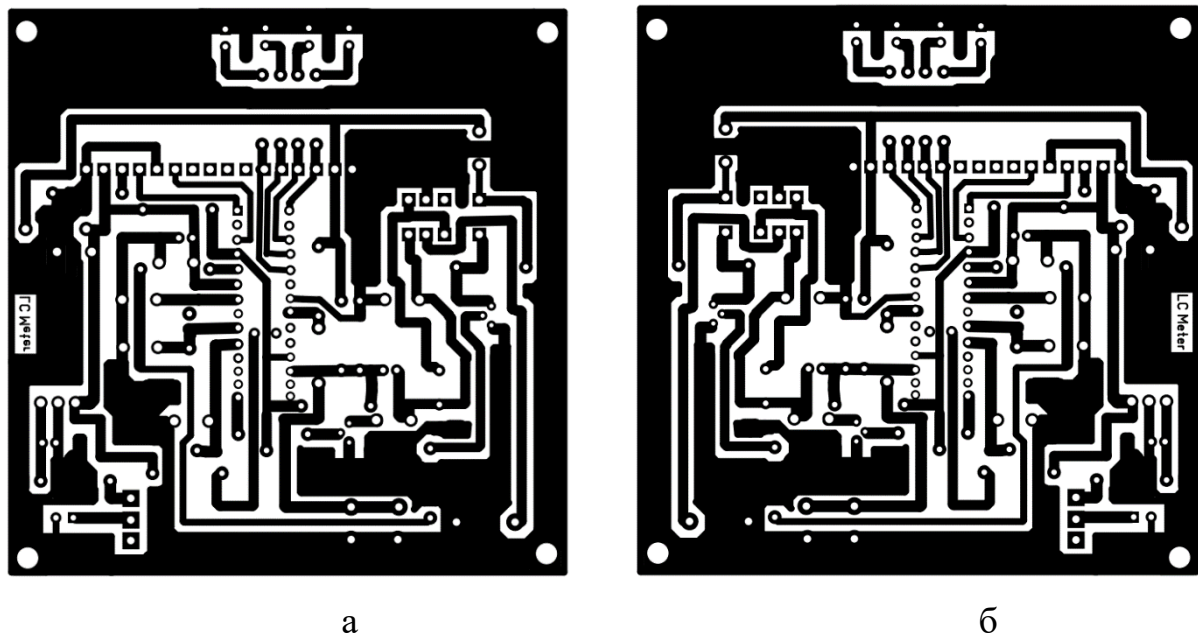


Рисунок 6.1. – Друкована плата вимірювача індуктивності та ємності:
а – зовнішня сторона плати; б – дзеркальне відображення

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		50

6.2 Розрахунок надійності розробленого пристрою

Надійність приладів та систем відноситься до їх здатності продовжувати працювати безвідмовно та зберігати задані функції протягом певного періоду години в умовах експлуатації. Висока надійність вимагає відсутності відмов, відповідність вимогам та забезпечення тривалого та стабільного функціонування.

Надійність приладів та систем може залежати від декількох факторів:

1) Проектування: Якість та правильність проектування впливає на надійність системи. Добре розроблена архітектура, відповідність вимогам та аналіз можливих ризиків можуть забезпечити високу надійність системи.

2) Виготовлення: Якість виробництва та використання високоякісних компонентів є важливими факторами для надійності. Недоліки у виробництві, недотримання технологічних процесів або використання низькоякісних компонентів можуть призвести до відмови системи.

3) Ретельне тестування та валідація системи можуть виявити можливі дефекти або проблеми, які можуть вплинути на надійність. Це включає тестування як на етапі виробництва, так і після впровадження системи в експлуатацію.

4) Умови експлуатації: Умови, в яких працює система, такі як температура, вологість, вібрація, електромагнітні перешкоди тощо, можуть вплинути на надійність. Системи, розроблені з урахуванням цих факторів та забезпеченням відповідних заходів захисту, можуть мати підвищену надійність.

5) Обслуговування та підтримка: Регулярне обслуговування, оновлення програмного забезпечення, резервне копіювання та забезпечення відновлення після відмови є важливими аспектами підтримки надійності системи.

Загальною метою досягнення високої надійності є виявлення та усунення можливих проблем на ранніх стадіях проектування та експлуатації, а також використання надійних компонентів та процедур для забезпечення

стійкої та безвідмовної роботи системи протягом тривалого періоду години.

МММТ.480.004.026 - ПЗ

Адк.

51

<i>Зм.</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>
------------	-------------	-----------------	---------------	------------

Надійність системи визначається широким спектром параметрів, що оцінюються для визначення стійкості та безвідмовності системи. Основні параметри, що використовуються для визначення надійності систем, включають:

1) МТВФ (Mean Time Between Failures) - середня година між відмовами: Визначає середній проміжок години між відмовами системи. Чим вище значення МТВФ, тим більша надійність системи.

2) МТТР (Mean Time To Repair) - середня година відновлення: Показник, що вказує середню годину, необхідний для відновлення системи після відмови. Коротший МТТР свідчить про швидше відновлення та менші перерви в роботі системи.

3) Відсоток безвідмовної роботи (Reliability): Визначає ймовірність безвідмовної роботи системи протягом певного проміжку часу. Високий процент безвідмовної роботи свідчить про стійкість системи до відмов.

4) Відсоток відмов (Failure Rate): Вказує на кількість відмов системи протягом певного проміжку години. Низький процент відмов свідчить про високу надійність системи.

5) Інтервал між обслуговуванням (Maintenance Interval): Визначає періодичність, з якою система потребує обслуговування, включаючи профілактичне утримання та ремонт. Довгий інтервал між обслуговуванням може свідчити про стійкість та надійність системи.

6) Запас стійкості (Margin of Safety): Показник, що вказує на резервну потужність чи ресурс, що залишається у системі для компенсації непередбачених факторів чи навантажень. Великий запас стійкості сприяє надійності системи.

Ці параметри використовуються для кількісної оцінки та порівняння надійності систем. Враховуючи ці параметри під час проектування, виробництва та експлуатації системи, можна підвищити її надійність та забезпечити стабільну та безвідмовну роботу.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Дрк.
Зм.	Дрк.	№ докum.	Підпис	Дат		52

Основним показником, що враховується при розрахунках надійності, є інтенсивність відмовлень $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов чисельно дорівнює числу відмов в одиницю часу, віднесене до вузлів, які безвідмовно пропрацювали до цього часу.

Розрахунок показників надійності проводився методом λ - характеристик, заснованому на інтенсивностях відмовлень комплектуючих виробів (КВ) і поправочних коефіцієнтах, що враховують реальні режими і умови експлуатації виробу.

Виріб призначений для роботи в умовах помірного клімату:

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

Склад виробу – комп'ютеризована система вимірювання індуктивності та ємності компонентів електронних схем.

Критерієм відмовлення виробу вважається відмовлення будь-якої його складової частини (вузла), що приводить до порушення працездатності виробу і неможливості використання його по призначенню.

При розрахунку надійності вироби використовувалися характеристики, дані в, при цьому були прийняті наступні допущення:

1. відмовлення КВ і ІС є подіями випадковими і незалежними;
2. відмовлення будь-якого КВ приводить до відмовлення виробу в цілому;
3. інтенсивність відмовлень КВ протягом терміну їхньої служби в тих самих робочих режимах і умовах є постійною;
4. закон розподілу в розрахунках безвідмовної роботи передбачається експоненціальним.

Розрахунок параметра потоку відмовлень виробу проводиться по формулі:

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

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

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

Інтенсивність відмовлень КВ i -ої групи в робочому режимі визначалася 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, електричне навантаження КВ і температуру навколишнього середовища, ступінь інтеграції інтегральних мікросхем, а також співвідношення видів відмовлень.

Конкретні формули, по яких визначалися інтенсивність відмовлень кожної групи комплектуючих виробів, приведені в таблиці 6.1. Величини значень визначилися по довідковим даним, приведеним у з врахуванням вихідних даних для проектного виробу.

По формулі (6.1) визначаємо потік відмовлень виробу (сума величин в графі 10 таблиці 6.2):

$$\lambda = 69,49 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу t визначалася по формулі

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

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

Дані розрахунку $P(t)$ приведені в таблиці 6.2.1.

Таблиця 6.1 – Ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом часу

t	250	500	750	1000	2000	5000	8000	10000
$P(t)$	0,9828	0,9659	0,9492	0,9329	0,8703	0,7065	0,5736	0,4992

Середній наробіток до відмовлення виробу визначався по формулі:

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

Підставляючи дані в формулу (6.4) одержимо:

$$T = (69,4827 \cdot 10^{-6})^{-1} = 14392 \text{ ч.}$$

					МММТ.480.004.026 - ПЗ			Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат				54

На графіку, приведеному на рисунку 6.2 приведена залежність надійності P(t).

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

Поз.	Найменування	Кіл.	$I_0 \cdot 10^6$ год ⁻¹	Формула розрахунку I_i	Коефіцієнти				$SI_i \cdot 10^6$ год ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Діоди				a_1	a_2	a_4	a_6	
	1N4001	2	0,1	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,168
1	Конденсатори				a_1	a_2		a_4	
	TECAP SMD A-33 пФ - 156 В	2	0,02	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0672
	JAMICON105C-10 mkf - 100 В	4	0,02	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,1344
	CBV-21 0,1mkf – 100 В (±10%)	2	0,02	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0672
	CBV CB10 50 В 1000пФ	2	0,02	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0672
2	Резистори				a_1	a_2		a_4	
	R0402 1.5kОм	5	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,0672
	R0402 100kОм	3	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,04032
	R0201 10kОм	3	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,04032
	R0402 560Ом	2	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,02688
	R0402 47kОм	1	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
	R0402 1kОм	1	0,008	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,8		1	0,01344
4	Мікросхеми				a_1	a_2	a_4	a_6	
	PIC16F1936	1	0,1	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,273
	LM7805	1	0,2	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_6$	2,1	1	1,3	1	0,546
5	Транзистори				a_1	a_2	a_4	a_6	
	BC547B	2	0,3	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4 \cdot a_5$	2,1	1	1,3	1	1,638
6	Комутаційні вироби				a_1	a_2	a_4	a_6	
	Кнопка: АМР-Х017	1	0,16	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,4704
	Вмикач: IS-1245T	1	0,6	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	0,7		1	0,882
8	Кварцовий резонатор				a_1	a_2	a_4	a_6	
	XRCGB16	1	0,2	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	0,42
10	Дисплей				a_1	a_2	a_4	a_6	
	WH1602B	1	0,1	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	0,21
12	Пайки	130	0,0001	$I_0 \cdot a_1$	2,1				0,0273
13	Акумуляторна батарея 9В	1	30	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_4$	2,1			1	63
14	Роз'єм	8	0,01	$I_0 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_4$	2,1	1	1,3	1	0,2184

					МММТ.480.004.026 - ПЗ				Дрк.
									55
Зм.	Дрк.	№ док.м.	Підпис	Дат					

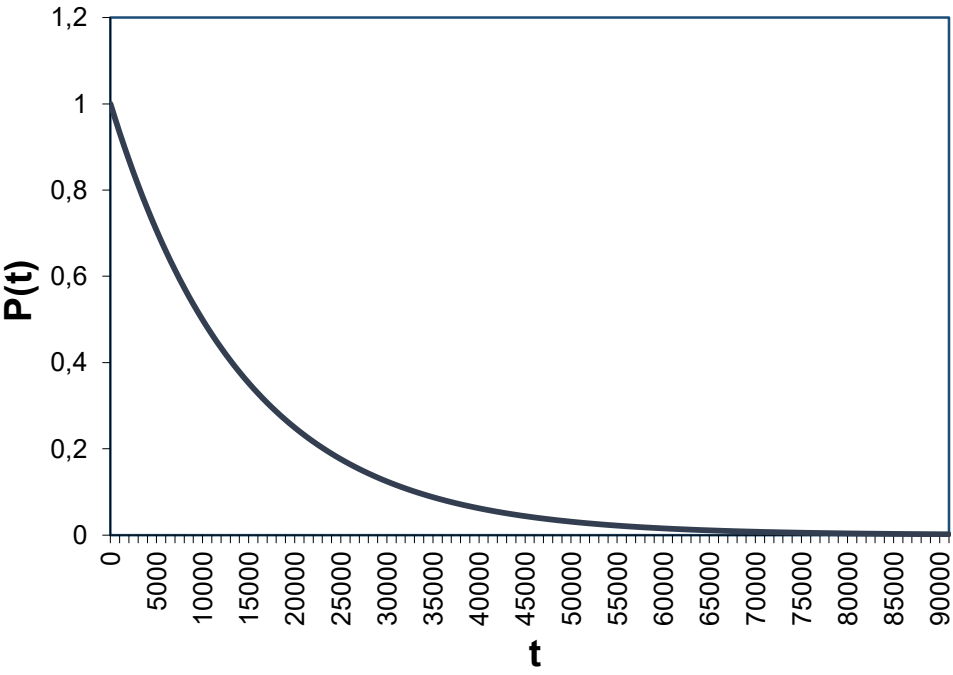


Рисунок 6.2 – Графік ймовірності безвідмовної роботи виробу протягом часу t

7 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Охорона та аналіз умов праці на робочому місці

Охорона та аналіз умов праці на робочому місці є важливими аспектами забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Це включає в себе вжиття заходів для запобігання нещасних випадків, захисту від шкідливих факторів та забезпечення комфортних умов праці. Ось деякі основні аспекти охорони та аналізу умов праці на робочому місці:

1) Оцінка ризиків: Проведення оцінки ризиків дозволяє ідентифікувати потенційні опасности та шкідливі фактори, які можуть впливати на працівників. Це включає аналіз фізичних, хімічних, біологічних та ергономічних аспектів робочої середовища.

2) Управління ризиками: Після оцінки ризиків слід вжити заходів для управління цими ризиками. Це може включати встановлення процедур безпеки, використання захисного обладнання, навчання працівників щодо безпеки та здоров'я, а також впровадження ефективних систем управління безпекою.

3) Ергономіка робочого місця: Забезпечення комфортних умов праці та врахування принципів ергономіки може допомогти уникнути травм та стресу, пов'язаного з роботою. Це може включати налагодження робочого місця, вибір ергономічного обладнання, адаптацію до потреб працівників.

4) Здоров'я та безпека працівників: Забезпечення безпечних умов праці, включаючи відповідне освітлення, вентиляцію, контроль небезпечних речовин та шуму, може допомогти запобігти професійним захворюванням та травмам. Також необхідно забезпечити надання першої медичної допомоги та реагування на надзвичайні ситуації.

5) Постійний моніторинг та покращення: Охорона умов праці є постійним процесом, який потребує постійного моніторингу та аналізу. Регулярні перевірки, аудити та звіти допоможуть виявляти проблеми та впроваджувати удосконалення для покращення умов праці.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
Зм.	Док.	№ док.	Підпис	Дат		57

б) Охорона та аналіз умов праці на робочому місці є важливою відповідальністю як роботодавців, так і працівників. Дотримання відповідних норм і стандартів допоможе створити безпечну та здорову робочу среду для всіх.

7.2.Охорона праці при роботі з мультиметром

Працівникам з обслуговування електро- та механічного устаткування, слюсарям-ремонтникам і іншим професіям доводиться часто виконувати різні слюсарні та складальні операції із застосуванням ручного інструменту та пристроїв. Тому вони повинні добре знати правила та вимоги з охорони праці при проведенні таких робіт і вміти організувати їх безпечне виконання. Виконання даного виду робіт регламентується «Правилами охорони праці при роботі з інструментом і пристосуваннями» (НПАОП 0.00-1.71-13).

Перед початком роботи слід перевірити, в якому стані знаходиться інструмент, який буде використовуватися при її виконанні. Інструмент, що має дефекти, тріщини, відколи необхідно замінити справним. Молоток повинен бути щільно насаджений на рукоятку, яка розклинюється клином з м'якої сталі або дерева. Не можна поправляти молоток з ослабленою рукояткою ударами його об верстак або інші предмети, це призводить до ще більшого розхитування рукоятки. Також міцно повинні бути насажені рукоятки на шабери, напилки та інші інструменти. Слабо насажені рукоятки під час роботи легко зіскакують з інструменту, при цьому гострим хвостовиком інструменту можна сильно поранити руку. Ручним інструментом без рукоятки користуватися заборонено.

Гайкові ключі повинні відповідати розмірам гайок і головок болтів. Не дозволяється застосовувати ключі з зім'ятими та тріснутими губками, нарощувати ключі трубами, іншими ключами або іншим способом, необхідно стежити за справністю лещат, знімачів.

При роботі з ручним електроінструментом класу I працівники повинні

					<i>МММТ.480.004.026 - ПЗ</i>	<i>Дрк.</i>
						58
<i>Зм.</i>	<i>Дрк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) (діелектричні: печатки, калоші, гумові килимки). У приміщеннях без підвищеної небезпеки ураження працівників електричним струмом дозволяється виконувати роботи з використанням електроінструмента класу II та III без застосування засобів індивідуального захисту.

Забороняється підключати електроінструмент напругою до 42 В до електричної мережі загального призначення через автотрансформатор, резистор або потенціометр, натягувати, перекручувати та перегинати кабель, що живить інструмент, ставити на нього вантаж і т.п.

Правильна організація робочого місця і виконання робіт забезпечує безпеку при використанні інструментів і пристосувань.

При виконанні робіт з ручним інструментом і пристосуваннями основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є:

- рухомі машини та механізми, рухомі частини виробничого обладнання, вироби, заготовки, матеріали, що рухаються;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- ураження електричним струмом;
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та обладнання;
- осколки оброблюваного матеріалу та виробів, що відлітають;
- розташування робочого місця на висоті від поверхні землі (підлоги, покриття);

Працівники, які виконують роботи з ручним інструментом і пристосуваннями, зобов'язані:

- виконувати тільки ту роботу, яка визначена посадовою інструкцією або доручена безпосереднім керівником;
- знати конструкцію та дотримуватися правил технічної експлуатації застосовуваного ручного інструменту і пристосувань;
- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, вимог правил охорони праці та пожежної безпеки;

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Док.
						59
Зм.	Док.	№ докum.	Підпис	Дат		

– застосовувати при роботі спецодяг і необхідні засоби індивідуального захисту;

– вміти надавати домедичну допомогу потерпілим від нещасного випадку.

Робоче місце – це частина простору робочої зони, пристосована для виконання працівником свого виробничого завдання. Робоче місце, як правило, облаштоване основним і допоміжним обладнанням (верстати, механізми, пристрої, енергетичні установки і т.д.), технологічним оснащенням (інструменти, пристосування, контрольно-вимірювальні прилади).

Робочі місця, розрізняються залежно від того, які дії та операції виконують працівники: монтажні, складальні, ремонтні, регулювальні і т.п. У всіх випадках інструменти, пристрої, пристосування необхідно розміщувати на відповідних, передбачених для цих цілей місцях, туди ж потрібно класти інструмент після закінчення роботи з ним. На робочому місці не повинно бути нічого зайвого, що не вимагається для виконання даної роботи. Обладнання робочого місця повинно строго відповідати всім вимогам охорони, гігієни праці, ергономіки і виробничої санітарії.

Працівник зобов'язаний виконувати роботу, обумовлену трудовим договором, повинен сприяти і співпрацювати з роботодавцем у справі забезпечення здорових і безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника про несправності устаткування, інструменту, пристосувань, транспортних засобів, засобів колективного та індивідуального захисту, про погіршення стану здоров'я, нещасних випадках на виробництві. [24].

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дат		

ВИСНОВОК

В кваліфікаційній роботі бакалавра був розроблений мікропроцесорний пристрій для контролю індуктивності електронних схем.

В роботі були виконані такі завдання:

- Розроблена структурна схема пристрою індуктивності;
- Розроблена принципова схема та друкована плата;
- Розроблений алгоритм та код програми;
- Описана охорона праці при роботі з пристроєм вимірювання індуктивності.

Розроблювальний вимірювальний пристрій може вимірювати індуктивність у межах від 0 до > 10 мГн, з точністю 0,14мГн. Надійність пристрою є 14 000 годин. Живлення пристрою складає 9 В.

Переваги розробленого вимірювального пристрою полягають в наступному: простота в налаштуванні, достатньо висока точність, невелика споживана потужність, доступна ціна, вітчизняний виробник.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Адк.
						61
Зм.	Адк.	№ докum.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи вимірювання ємності та індуктивності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electricalschool.info/main/naladka/423-kak-izmerit-embkost-i-induktivnost.html>.

2. Тестер напівпровідників ESR RLC GM328A HW-849A [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://techfactory.com.ua/p1524249343-tester-poluprovodnikov-esr.html>.

3. Мультиметр Mastech LCR-метр MS5308 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radio-shop.com.ua/uk/multimetr-lcr-metr-ms5308>.

4. Тестер радіокомпонентів LCR-TC1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radiocron.com.ua/p1198480272-tester-radiokomponentov-lcr.html>.

5. Токові кліщі з функцією мультиметра Aneng PN103 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/ua/aneng-ut32176/p403290945/characteristics/>.

6. Мікроконтролерні пристрої : навч. посіб. для студ. спец. «Мікро- та наноелектроніка» / О. С. Тонкошкур, І. В. Гомілко, О. В. Коваленко ; Дніпропетровський нац. ун-т ім. О. Гончара. – Д. : Вид-во ДНУ, 2014. – 264 с.

7. Основи електроніки : навч. посіб. / А. С. Васюра, Г. Д. Дорощенко, В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 197 с.

8. Мікропроцесорна техніка [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальності «Електроніка» / В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ» ; ред. О. В. Борисов. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,28 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 440 с.

9. Реле [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronics.huimultd.com/ru/Blog/Relays-Comparation>.

10. Кварцевий резонатор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/academy/post/kvarczevye-rezonatory-chto-eto-takoe-i-gde-oni-primenyayutsya.php>.

11. Кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/knopki-taktovye>.

					<i>МММТ.480.004.026 - ПЗ</i>	<i>Дрк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Дрк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		62

12. Акумулятор [Електронний ресурс]. – <https://autoglim.ru/uk/the-ignition-system-of-the-car/akkumulyatornye-batarei-vidy-i-ustroistvo-primenenie-vazhnoe-o-vazhnom/>.

13. PIC16F1936 Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kosmodrom.ua/ru/mikrokontroler/pic16f1936-i-so.html>.

14. Стабілізатор напруги LM7805 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino-geek.pp.ua/product/linejnyj-reguljator-naprjazhenija-l7805cv>.

15. Дисплей WH1602B [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=WH1602B-YGH-CTK>.

16. Реле G2RL-24-DC5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/rele-g2rl-24-5vdc_59500.html.

17. Кварцовий резонатор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tme.eu/ua/details/10.00m-hc49-s/kvartsevi-rezonatori-tht>.

18. Тактова кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronica.in.ua/ua/p1534468041-knopka-taktovaya-tact.html>.

19. Катушка індуктивності B82477 G4823M [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://magazin-elektronika.ua/74-27-80>.

20. Т.М.Демків, О.І.Конопельник, Я.І.Шопа. Основи теорії похибок фізичних величин. – центр ЛНУ ім. І. Франка, 2018.

21. Прошивка PIC мікроконтролерів[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crashbox.ru/installation-proshivka-pic>.

22. Розробка друкованих плат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/service/proektirovanie-pecatnyh-plat>.

23. Надійність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://radio-vc.inf.ua/Quality/L4_5.pdf.

24. Охорона праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zvpu.zp.ua/ldsfibhr8>.

25. Вимірювальна техніка та метрологія. – Л. : Львівська політехніка, 2015. – 164с.

					МММТ.480.004.026 - ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дат		