

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

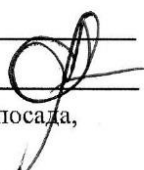
до кваліфікаційної роботи
бакалавра

на тему: Комп'ютеризована система вимірювання та контролю
ємності та індуктивності компонентів електронних схем

Виконав: студент 4 курсу, групи МТ-2
спеціальність 152 «Метрологія та
інформаційно вимірювальна техніка»
Стаховський Ілля Володимирович 
(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н., професор,
Подчашинський Ю.О. 

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

Рецензент К.Т.Н., доцент
Добрнашеский О.О. 
(науковий ступінь, вчене звання, посада,
прізвище та ініціали)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

культет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

федра Метрології та інформаційно-вимірювальна техніка

вітній ступінь бакалавр

еціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Метрології та інформаційно вимірювальна техніка

д.т.н., професор, Подчашинський Ю.О.

 " 30 " березня 2023 р.

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

Стаховському Іллі Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Гема роботи Комп'ютеризована система вимірювання та контролю смності та
уктивності компонентів електронних схем

івник роботи Подчашинський Юрій Олександрович

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

верджені наказом вищого навчального закладу від "30" березня 2023 року №129/с

Трок подання студентом роботи "10" червня 2023 року

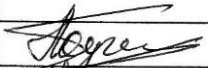
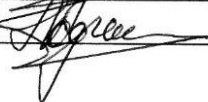
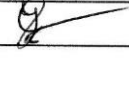
Зихідні дані до роботи функції комп'ютеризованої системи: визначення смності та
уктивності компонентів, вмикання та вимикання приладу, обнулення даних,
ібрування, виводу даних на дисплей, підключення вимірюваних компонентів вручну.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
робити) технічне завдання, огляд та аналіз методів вимірювання, розробка
руктурної та принципової схеми, розробка програми та алгоритму,
структорська частина, безпека життєдіяльності та охорона праці

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

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

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	Подчашинський Ю.О., професор		
4,5,6,7	Лугових О.О., старший викл. каф.МтаІВТ		

Дата видачі завдання 15.04.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

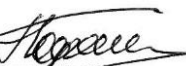
№ п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Підготувати звіт про переддипломну практику	02.03.2023– 11.03.2023	
	Збір літературних даних за темою дипломної роботи та відомих методів визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	17.04.2023 – 24.04.2023	
	Ознайомитись з основними принципами побудови систем визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	25.04.2023 – 02.05.2023	
	Розробка структурної схеми системи визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	03.05.2023 – 10.05.2023	
	Розробка принципової схеми системи визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	11.05.2023 – 18.05.2023	
	Вибір компонентів для визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	19.05.2023 – 26.05.2023	
	Розробка блок-схеми алгоритму та програми визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем	27.05.2023- 03.06.2023	
	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	04.06.2023 - 10.06.2023	

Студент


(підпис)

І.В. Стаховський
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Ю.О. Подчашинський
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Комп'ютеризована система вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем» містить 61 сторінки, 24 рисунків, 6 таблиць, 11 формул, 31 джерела.

В роботі проводиться опис аналогів та актуальність створення комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності.

Зроблений та обґрунтований вибір складових системи. Побудована структурна та принципова схема комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності. Зроблено аналіз похибок та надійності вимірювальної системи. На базі складових елементів та принципової схеми спроектована друкована плата. Для роботи системи спроектований алгоритм роботи програми та відповідна програма.

ANNOTATION

The qualification of the bachelor's work on the topic "Computerized system of measurement and control of capacitance and inductance of components of electronic circuits" contains 61 pages, 24 figures, 6 tables, 11 formulas, 31 sources.

The paper describes analogues and the relevance of creating a computerized system for measuring and controlling capacitance and inductance.

A justified choice of system components was made. The structural and principle diagram of the computerized system of measurement and control of capacitance and inductance was built. An analysis of errors and reliability of the measuring system was made. A printed circuit board is designed on the basis of constituent elements and a schematic diagram. For the operation of the system, the algorithm of the program and the corresponding program are designed.

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 МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ	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 мікроконтролеру.....	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 мікроконтролеру.....	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
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. Проблеми безпеки життєдіяльності в електронній промисловості.....	55
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	62

					МММТ.4 70.013.013 – ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив		Стаховський І.В.						5	61
Перевірив		Лугових О.О.							
Рецензент									
Н. контр.									
Затверд.		Подчаїшинський Ю.О.			ДУ «Житомирська політехніка», МТ-2				

ВСТУП

В електроніці та схемотехніці завжди потрібно знати ємність конденсаторів та котушок індуктивності. Зазвичай вони мають маркировку, але іноді не вистачає часу в ній розібратися або людина має не дуже добрий зір. Знання показників деталей потрібно при розробці та перевірки елементів. Для того щоб схема працювала вірно потрібно визначати виміром параметрів індуктивності та ємності. Тому, на сьогодні вимірювач індуктивності та ємності є не актуальним для техніка або інженера.

В якості аналогу такого пристрою можна розглядати простий мультиметр, який може поєднує багато функцій вимірювання. Він працює з основними величинами: з напругою, струмом, опором, ємністю та температурою. Дуже часто в мультиметрах не передбачено вимірювання індуктивності. Для того щоб дізнатися величину ємності необхідно застосувати спеціальну приставку до мультиметра. В даний час це є один з вагомих недоліків мультиметрів.

Метою роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем. Особливістю є простота в процесі вимірювання та калібрування. Комп'ютеризована система вимірювання та контролю ємності та індуктивності є вимірювачем частоти, який містить у складі генератор коливань, що генерує коливання та робить вимірювання величини індуктивності або ємності завдяки коливальному контуру.

1 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

1.1 Призначення та галузь застосування

Комп'ютеризована система вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем призначений для вимірювання індуктивності та ємності електричних елементів окремих, а також вже вбудованих схему.

Застосовується в сфері електротехніки та електроніки.

1.2. Технічні умови експлуатації

– Комп'ютеризована система вимірювання використовується в нормальних кліматичних умовах.

– 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%

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						7
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ

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:

1. Для вимірювання індуктивності та ємності існує кілька методів, які можуть використовуватися залежно від контексту та типу вимірюваного компонента. Ось кілька поширених методів:

2. Метод резонансу: Цей метод використовує резонансні явища в коливальних цепях для вимірювання індуктивності та ємності. Наприклад, для вимірювання індуктивності можна підключити індуктивний елемент до коільного контуру та знайти резонансну частоту за допомогою зміни частоти джерела сигналу. За формулою резонансної частоти та відомим значенням інших компонентів можна розрахувати значення індуктивності.

3. Метод часових перетворень: Цей метод базується на вимірюванні залежності часових параметрів від змін індуктивності чи ємності. Наприклад, для вимірювання індуктивності можна використовувати зарядний розрядний цикл індуктивного елемента та вимірювати часові параметри цього процесу. За відомими значеннями інших параметрів і формул, можна розрахувати значення індуктивності.

4. Метод мостової зв'язки: Цей метод використовує мостові схеми, щоб виміряти індуктивність чи ємність невідомих компонентів. Це досягається шляхом порівняння невідомих компонентів з відомими компонентами в мостовій схемі та вимірювання різниці вихідних сигналів.

5. Вимірювання з використанням лабораторних інструментів Для вимірювання індуктивності та ємності можна використовувати лабораторні інструменти, такі як LC-метри, LCR-метри, LCR-метризатори або імпедансні аналізатори. Ці прилади вимірюють параметри компонентів, використовуючи

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						8
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

різні методи, такі як аналіз струму, напруги, фази тощо.

6. Кількісні методи: У деяких випадках для вимірювання індуктивності або ємності можна використовувати кількісні методи, які вимагають спеціального обладнання або методики. Наприклад, для вимірювання індуктивності високих частот можуть використовуватись спеціальні пробники, коаксіальні лінії передачі та інші методи.

Ці методи можуть бути застосовані окремо або в комбінації для вимірювання індуктивності та ємності різних компонентів. При вимірюванні важливо враховувати параметри оточення, ефекти паразитної ємності та індуктивності, а також правильно налаштувати вимірювальну апаратуру для отримання точних результатів.[1]

2.2 Огляд сучасних вимірювачів індуктивності та ємності

Цифровий тестер LCR-T4 ESR (рис.2.1) – це універсальний вимірювальний прилад для автоматичного визначення та вимірювання параметрів електронних компонентів: ємності конденсаторів, індуктивності котушок, опору резисторів, параметрів транзисторів, діодів, стабілітронів, світлодіодів та інших комплектуючих. ESR тестер сам визначає тип радіокомпоненту, після чого виводить на екран його параметри та цоколівку. Дуже зручно впізнавати деталі без позначень, особливо для тих, хто не хоче розбиратися з маркуваннями компонентів.



Рис. 2.1 – Цифровий ESR, LCR

При наявності старих плат від комп'ютера або побутової техніки. Можна випаяти з них деталі і за допомогою ESR LCR тестера визначити параметри, для подальшого використання.

Характеристики LCR-T4 ESR:

- Живлення від елемента типу "Крона": 9 В;
- LCD дисплей із зеленим підсвічуванням: 128 x 64;
- Регулювання контрастності дисплея: Так;
- Час розпізнавання компонентів: ~2 сек.;
- Великі ємності та індуктивності вимірюються до 1 хв.;
- Струм у сплячому режимі: 0,02 мА;
- Діапазон вимірювання ємності конденсаторів: 25 пФ.. 100 мкФ;
- Діапазон вимірювання індуктивності: 0.01 мГн.. 20 Гн;
- Діапазон вимірювання опору: 0 Ом.. 50 МОм;
- Точність виміру опору: 0,1 Ом;
- Обчислення коефіцієнта посилення транзисторів: Так;
- Автоматичне розпізнавання провідності всіх напівпровідників та транзисторів: Так;
- Автоматично розпізнавання цоколівки транзисторів: Так;
- Автоматично розпізнавання анод та катод діодів: Так;
- Керується однією кнопкою: Так;
- Автоматичний перехід у сплячий режим: Так. [2]

Мультиметр універсальний Uni-t UT120В представлений на рис.2.2.

Тонкий кишеньковий цифровий мультиметр для вимірювання напруги, частоти, ємності, опору, перевірки цілісності ланцюга та тестування діодів. З додаткового функціоналу Мультиметр кишеньковий UT120В оснащений режимом автовідключення та автоматичним вибором діапазонів. Надзвичайно компактні розміри, мінімальна вага і простота інтерфейсу роблять UT120В незамінним помічником як для професіоналів, так і для електронників-аматорів.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						10
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		



Рис. 2.2.Мультиметр універсальний Uni-t UT120B

Функціональні можливості мультиметра UT120B:

1. Функції вимірів:
 - постійна напруга;
 - змінна напруга;
 - частота;
 - ємність;
 - опір;
2. продзвонювання ланцюга (зі звуковим сигналом);
3. тестування діодів;
4. Автоматичний вибір меж (діапазону);
5. Функція відносних вимірів;
6. Функція утримання даних;
7. Автовимикання («сплячий» режим);
8. Індикація низького заряду батареї.

Технічні характеристики мультиметра:

- Гарантія: 12 місяців;
- Екран: 3999 - розрядний РК дисплей, 43×22 мм;
- Габарити: 110 x 58 x 11 мм;
- Джерело живлення: 3 В батарея (CR2032);
- Вимірювання: Постійна напруга (DC);
- 400 мВ/4 В/40 В/600 В; $\pm(0,8\%+3)$;
- Змінна напруга (AC): 4 В/40 В/600 В; $\pm(1,2\%+3)$;
- Опір: 400 Ом/4 кОм/40 кОм/400 кОм/4 Мом/4 МОм; $\pm(1\%+2)$;
- Частота: 10 Гц – 10 МГц; $\pm(0,5\%+3)$;
- Ємність: 4 нФ/40 нФ/400 нФ/4 мкФ/40 мкФ/100 мкФ; $\pm(4\%+3)$. [3]

RLC вимірювач DT-9935 представлений на рис.2.3.



Рис. 2.3. RLC вимірювач DT-9935

Професійний LCR-метр з автоматичним вибором режиму вимірювання – L, C або R. Також прилад додатково вимірює добротність, коефіцієнт загасання, тангенс кута діелектричних втрат (Q, D, θ). Висока точність досягається 4-провідною схемою виміру.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		12

Вимірювані параметри:

- опір постійному та змінному струму;
- ємність;
- індуктивність;
- добротність;
- коефіцієнт загасання;
- тангенс кута діелектричних втрат.

Опції CEM DT-9935:

1) Індикація низького заряду батареї. Попереджає звуковим сигналом та іконкою на екрані про необхідність заміни батарей.

2) Автоматичне вимкнення. Вимірник автоматично вимикається після 5 хвилин бездіяльності. Звучить сигнал. Цей режим активується користувачем.

3) Звуковий сигнал. Звучить за наступних подій: натискання клавіші, неприпустимий режим, зміна показань, натискання пасивної клавіші.

4) Підсвічування дисплея. Вмикається користувачем під час роботи в умовах низького освітлення.

5) Режим HOLD дозволяє користувачеві зафіксувати показання на екрані дисплея перед виходом з режиму.

6) Режим відносних вимірювань дозволяє порівнювати значення параметра з опорним значенням.

7) Режим калібрування проводиться за умови замкнутого та розімкнутого входу.

8) Режим сортування або допусковий контроль дозволяє швидко розділити компоненти за групами допуску відповідно до стандартних рядів номіналів радіoeлектронних компонентів.

9) Вибір частоти тестування. Користувач може вибрати одну із п'яти значень частоти тестового сигналу.

Технічні характеристики:

- Опір: від 2 Ом до 200 МОм із похибкою $\pm 0,5 \%$;
- Індуктивність: від 200 мкГн до 2000 Гн із похибкою $\pm 1,2 \%$;

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						13
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

- Місткість: від 2 пФ до 2мФ з похибкою $\pm 0,8 \%$;
- Добротність: від 0,000 до 999;
- Коефіцієнт згасання: від 0,000 до 999;
- Тангенс кута діелектричних втрат: ± 90 ;
- Тестова напруга: 0,6 В;
- Частота тестового сигналу: 100 Гц, 120 Гц, 1 кГц, 10 кГц, 100 кГц;
- Допусковий контроль: 0.25%, 0.5%, 1%, 2%, 5%, 10%, 20%, +80...-20%;
- Параметри навколишнього середовища під час експлуатації: від -10 до 50 °C, RH не більше 70 %;
- Параметри довкілля при зберіганні: від -30 до 60 ° C, RH не більше 80%;
- Габаритний розмір: 220x96x60 мм;
- Вага 360 г.[4]

Вимірювач RLC Chy Firemate 41-R (E7-22) представлений на рис.2.4.



Рис. 2.4. Вимірювач RLC E7-22

МММТ.470.013.013 - ПЗ

Лист

14

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат

Вимірювач RLC CHY FIREMATE 41-R (E7-22) використовується для визначення ємності, індуктивності, тангенсу куту втрат, добротності, опору змінному струму, еквівалентного послідовного/паралельного опору.

Особливості:

- Базова помилка 0.5% (R), 0.7% (L, C);
- Тест-сигнал: 120 Гц, 1 кГц; 0,5 В;
- Послідовна/паралельна схема заміщення;
- Висока роздільна здатність (0.1 мкГн, 0.1 пФ, 1 МОм);
- Одночасна індикація двох вимірюваних параметрів;
- 5-розрядна цифрова шкала;
- Автоматичний та ручний вибір діапазону вимірювань;
- Реєстрація: макс./хв. та розрахунок середнього значення;
- Режим: Δ-вимірювань та допускового контролю;
- Підсвічування: РК-індикатора;
- Інтерфейс: RS232;
- Універсальне живлення.[5]

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						15
Зм	Лист	Но докум	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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						16
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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

									Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат	МММТ.470.013.013 - ПЗ				
					17				

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						18
Зм	Лист	№ докум	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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						19
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

–Кольорова глибина: Якщо вам потрібен колоровий 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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						20
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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 перемикає 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.470.013.013 - ПЗ

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		23

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						24
Зм	Лист	№ докум	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

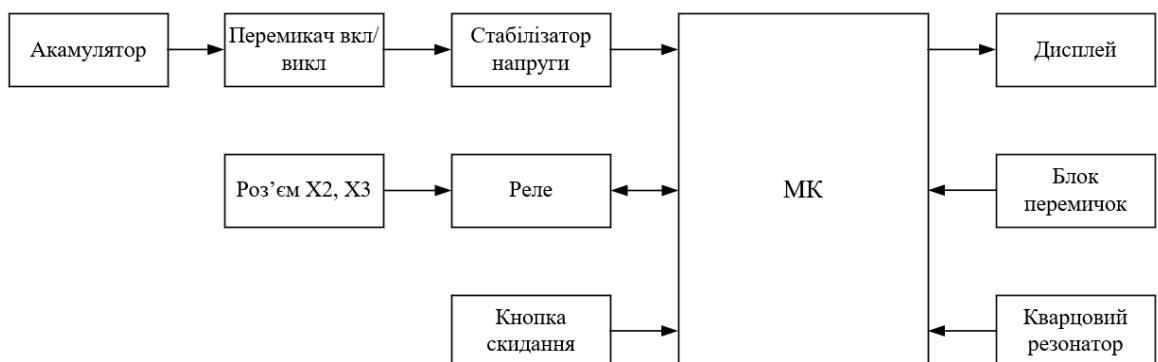


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи схем

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						26
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

4 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

4.1 Вибір мікроконтролера

При виборі мікроконтролера враховувалося надійність та продуктивність, важливою метою був вибір найменш дорогого МК. Обираємо 8-ми бітний мікроконтролер PIC16F1936 рис.4.1.



Рис. 4.1. Мікроконтролер PIC16F1936

PIC16F1936 є 8-розрядним мікроконтролером від компанії Microchip Technology. Він належить до серії PIC (Peripheral Interface Controller) та базується на архітектурі Harvard. PIC16F1936 пропонує широкий спектр функцій і периферійних пристроїв, які роблять його популярним у багатьох застосуваннях.

Основні характеристики PIC16F1936:

Центральний процесор (CPU): Вбудований 8-розрядний CPU з архітектурою RISC, що працює на високій швидкості. Він має широкий набір команд для виконання різних операцій.

Пам'ять: PIC16F1936 має 8192 байтів програмної флеш-пам'яті для зберігання програмного коду. Він також має 256 байтів оперативної пам'яті (RAM) для зберігання даних під час виконання програми.

Периферійні пристрої: Мікроконтролер має різноманітні периферійні пристрої, включаючи аналого-цифрові перетворювачі (ADC), таймери, засоби комунікації (UART, SPI, I2C), порти вводу-виводу (GPIO), PWM-контролери, засоби управління енергоспоживанням та інші.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						27
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

Зовнішні інтерфейси: PIC16F1936 підтримує різні інтерфейси, такі як USB, USART, SPI та I2C, що дозволяє підключати його до зовнішніх пристроїв та забезпечувати комунікацію з ними.

Напруга живлення: Мікроконтролер може працювати в діапазоні від 2,3 до 5,5 вольт, що робить його сумісним з різними джерелами живлення.

PIC16F1936 є потужним та гнучким мікроконтролером, який підходить для широкого спектру застосувань, включаючи автоматизацію, промислові контролери, робототехніку, системи безпеки, медичну техніку, побутову електроніку та багато іншого. Для розробки програмного забезпечення для PIC16F1936 використовують спеціальні інтегровані середовища розробки, такі як MPLAB IDE, які дозволяють писати, компілювати та завантажувати програми на мікроконтролер. [13]

4.2 Вибір стабілізатора

Стабілізатор LM7805 (рис.4.2) є одним з найпоширеніших і найпростіших у використанні стабілізаторів напруги. Він належить до сімейства стабілізаторів напруги типу 78xx, де "xx" позначає конкретний модельний номер.

LM7805 призначений для стабілізації постійної напруги та забезпечення сталого вихідного напруги 5 Вольт. Він здатний перетворювати вхідну напругу від 7 до 35 Вольт у стабільний 5-вольтовий джерело живлення.



Рис. 4.2. Стабілізатор LM7805

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		28

Основні характеристики стабілізатора LM7805:

- Вихідна напруга: 5 Вольт.
- Максимальний вхідний струм: до 1 Ампера.
- Вхідна напруга: 7-35 Вольт (рекомендується використовувати не менше 2 Вольт вище вихідного напруги).
- Точність стабілізації: $\pm 5\%$.
- Температурний діапазон: від 0 до 125 градусів за Цельсієм.

Для використання стабілізатора LM7805 потрібно підключити його до джерела постійного напруги, забезпечивши відповідну різницю вхідної та вихідної напруги. Вихідний струм може бути обмежений за допомогою потенціометра чи додаткових компонентів.

Потрібно бути обережним при використанні стабілізатора LM7805, оскільки він може генерувати тепло. Рекомендується використовувати радіатор або холодильний елемент для відведення надлишкового тепла та запобігання перегріванню.

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) є типом символьного LCD-дисплея, який можна знайти у багатьох проектах електроніки. Він має 16 символьних 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:

- Розмір: 16 символів на 2 строчки.
- Керування: використовує стандартний контролер HD44780 або сумісний контролер.
- Інтерфейс: зазвичай використовують паралельний 4-бітний або 8-бітний інтерфейс.
- Зворотне підсвічування: може мати зворотне підсвічування LED для полегшення читання на темному тлі.
- Керування контрастністю: зазвичай має можливість регулювання контрастності через потенціометр.

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

Електромагнітне реле G2RL-24-DC5 є типовим електромеханічним реле, яке використовується для перемикання електричних сигналів у системах керування, автоматизації та електроніці. Воно призначене для використання з постійним струмом живлення 5 Вольт.



Рис. 4.4.Реле G2RL-24-DC5

Основні характеристики електромагнітного реле G2RL-24-DC5:

- Напруга живлення: 5 Вольт (DC).
- Контактна конфігурація: 1 перехідний контакт (SPDT – Single Pole Double Throw).
- Максимальний комутаційний струм: залежить від конкретної моделі, але може досягати 16 Ампер.
- Максимальна робоча напруга: залежить від конкретної моделі, але зазвичай становить 250 Вольт (AC) або 30 Вольт (DC).
- Ізоляційна напруга: зазвичай від 1500 до 2000 Вольт (AC) між контактами та котушкою.

Електромагнітні реле використовуються для перемикання електричних сигналів шляхом зміни положення контактів під впливом магнітного поля, що утворюється в котушці. Застосування електромагнітних реле може включати керування силовими навантаженнями, автоматичний контроль, сигналізацію та інші схеми комутації сигналів.

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) є типовим кварцовим резонатором, який використовується для генерації стабільних коливань у різних електронних пристроях, таких як мікроконтролери, мікросхеми, годинники. Цей резонатор має типовий корпус HC-49/U з трьома пінами.



Рис. 4.5. Кварцовий резонатор

Основні характеристики кварцового резонатора HC49/U3H:

1) Частота: Частота резонансу кварцового резонатора HC49/U3H зазвичай визначається в документації або на самому резонаторі. Наприклад, це може бути 4 МГц, 8 МГц, 16 МГц і т. д. залежно від конкретної моделі.

2) Точність: Кварцовий резонатор зазвичай має певну точність, що вказує на його відхилення від зазначеної частоти. Зазвичай точність вимірюється в частках мільйона (ppm) і може бути, наприклад, ± 30 ppm, ± 50 ppm тощо.

3) Температурний діапазон: Кварцові резонатори мають обмежений температурний діапазон, в межах якого вони забезпечують стабільні коливання. Зазвичай цей діапазон вказується в документації виробника, і може бути, наприклад, від -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$ або від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

4) Робоча напруга: Кварцові резонатори зазвичай працюють при стандартній напрузі, яка залежить від конкретної моделі. Наприклад, резонатор може бути призначений для роботи при напрузі 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 АМР-Х017 – велика тактова кнопка без фіксатора. До кнопки додається кольоровий пластиковий ковпачок, який надійно кріпиться на ній за допомогою клямки.



Рис. 4.6. Кнопка тактова АМР-Х017

Технічні характеристики:

- Опір ізолятора: 100 МОм;
- Опір контактів: 0,1 Ом;
- Робоча напруга: до 12 В;
- Гранична напруга: 250 В змінного струму протягом 1 хв.;
- Робочий струм: 50 мА.[18]

4.7 Вибір катушки індуктивності

Серія В82477G4823М, має високу надійність і електромагнітні характеристики. Індуктивності даної серії мають показник струму насичення на 30%, що перевищує аналогічний показник у стандартних серіях. Значення сили струму варіюється від 1,05 до 38 ампер при індуктивності 0,82 до 1000 мкГн.

Широкий діапазон робочих температур (від -55 до 150 ° С) задовольняє найсуворішим вимогам автомобільного стандарту якості АЕС-Q200.

Сконструйований на підкладці, цей тип індуктивностей задовольняє найсуворішим вимогам щодо механічної стабільності.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		33

[illegible]

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

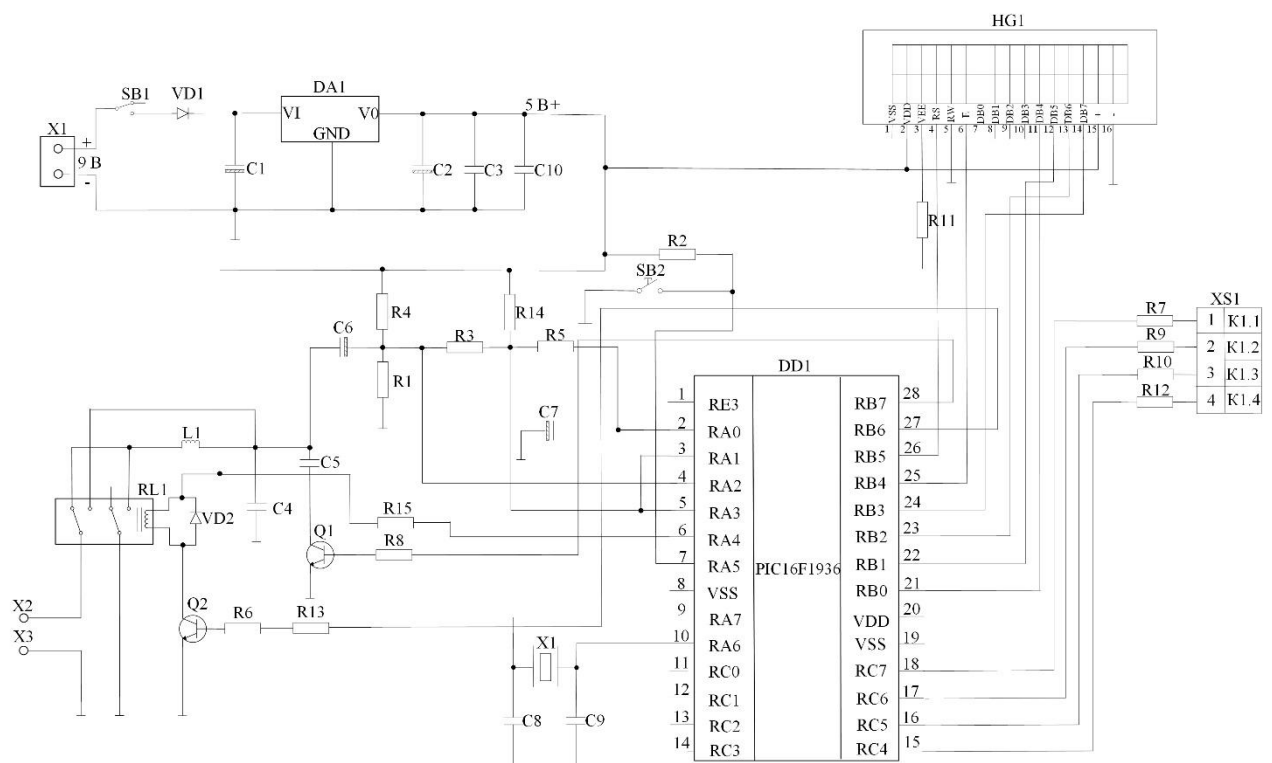


Рис. 4.9 – Принципово-електрична схема комп'ютеризованої системи

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

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						36
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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.

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. Дампери можна зняти, тому що мікроконтролер запам'ятає встановленні параметри.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		37

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.

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 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:

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						38
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

$$\Delta_B x = t_{pm} \delta_B \quad (4.12)$$

Для цього розраховують σ_B 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_B , t_{pm} підставляють у формулу (4.12).

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 Δx_B , похибку приладу $\Delta x_{п}$ та похибку заокруглення Δx_3 . Отже, за умови, що $\Delta x_{сист} = 0$, сумарна похибка Δx дорівнює:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta_B x)^2 + (\Delta_{п} x)^2 + (\Delta_3 x)^2} \quad (4.14)$$

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:

$$\Delta x_3 = P \frac{h}{2} \quad (4.15)$$

де P — задана надійна ймовірність.

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 t_p — 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 Стюдента 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:

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

5) 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 :

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						41
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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

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

Запишемо кінцевий результат:

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

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лри
						42
Зм	Лри	Но докум	Підпи	Лет		

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ТА АЛГОРИТМУ

5.1 Розробка алгоритму

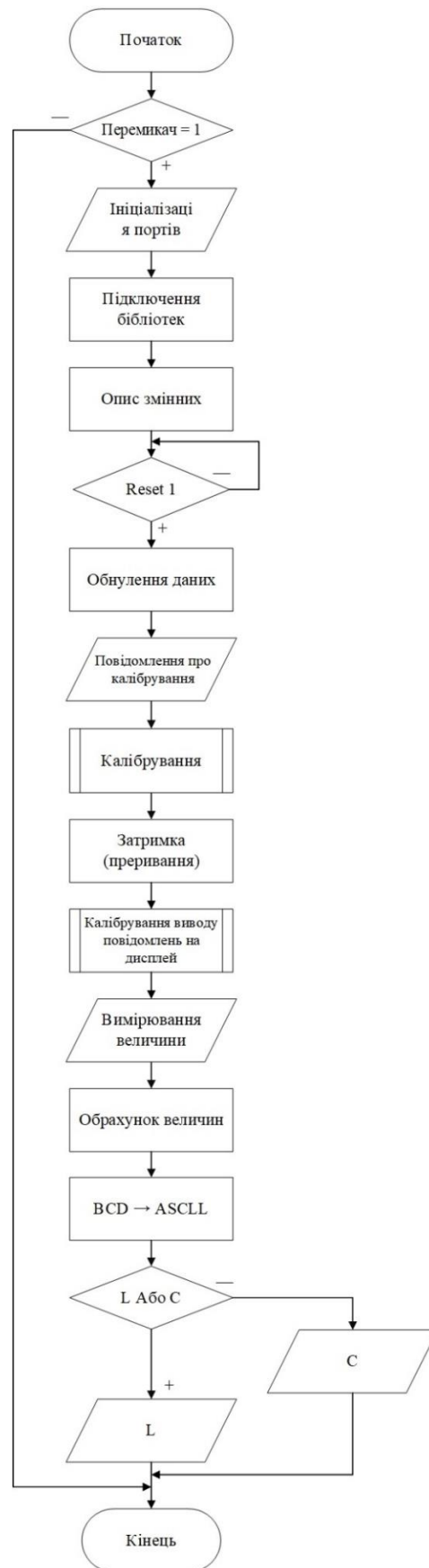


Рис. 5.2 Алгоритм роботи системи виміру індуктивності та ємності

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: C 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.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		44

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						45
Зм	Лист	№ докум	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.

					Лист
					46
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат	

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

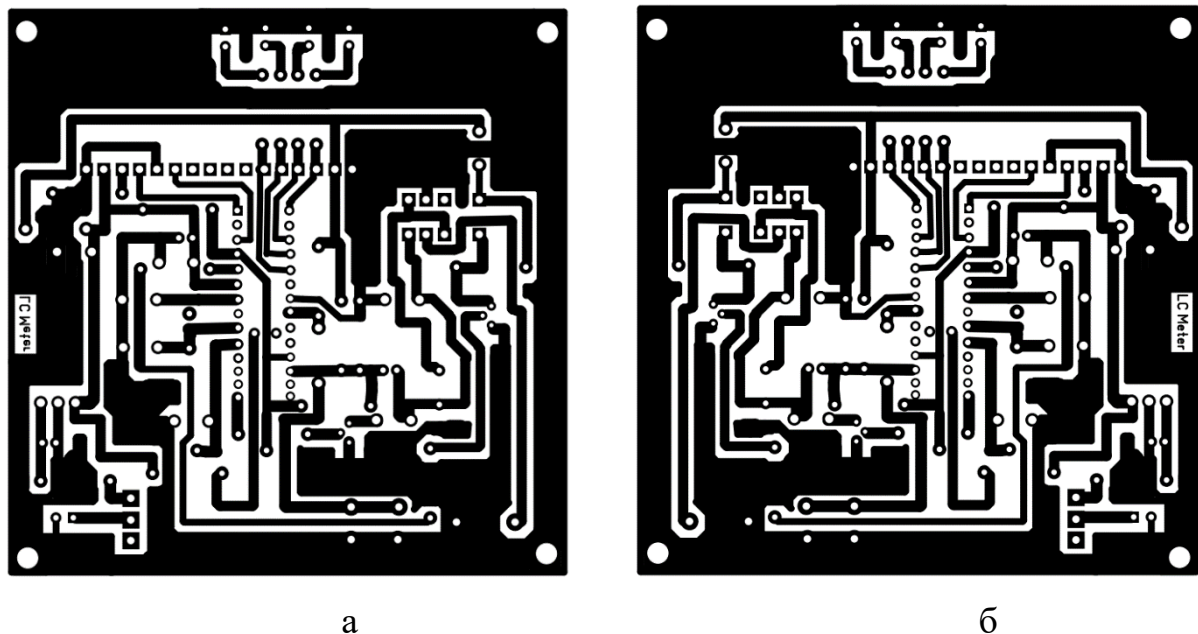


Рисунок 6.1. – Друкована плата вимірювача індуктивності та ємності:
а – зовнішня сторона плати; б – дзеркальне відображення

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
						48
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		49

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:

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

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.

МММТ.470.013.013 - ПЗ

Лист

50

Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат

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:

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

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

Таблиця 6.2 – Перелік комплектуючих виробів

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						51
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

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: AMP-X017	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
	Разом								69,4827

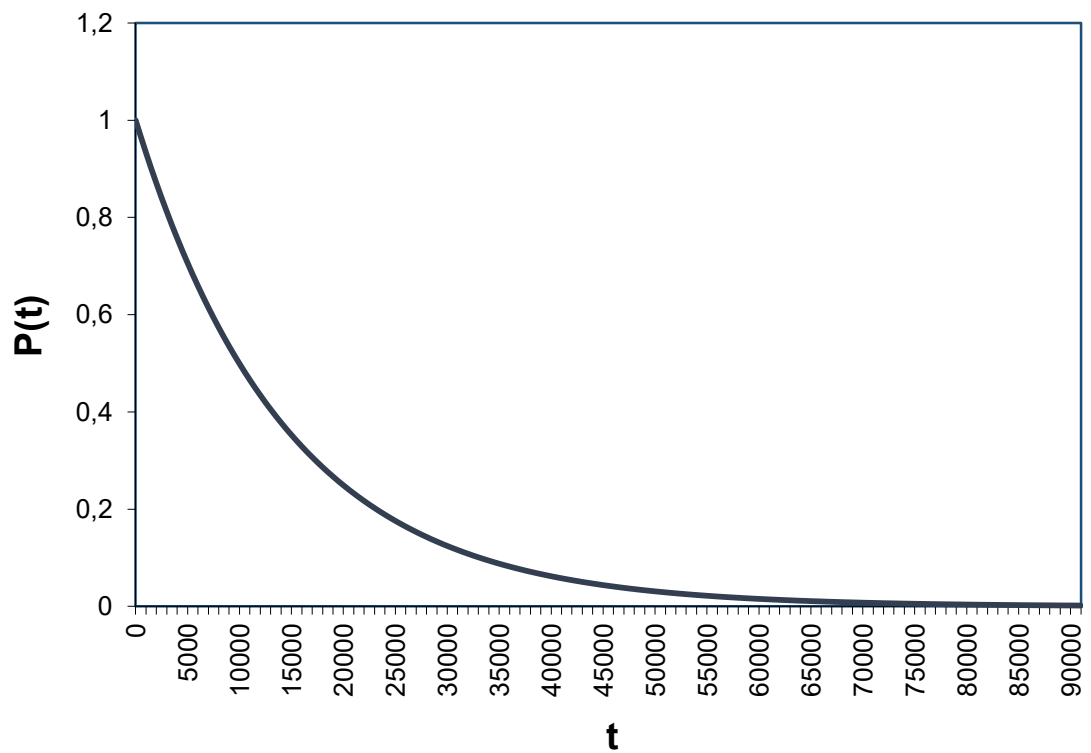


Рисунок 6.2 – Графік ймовірності безвідмовної роботи виробу протягом часу t

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.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		54

6) 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 Проблеми безпеки життєдіяльності в електронній промисловості

Більшість галузей економіки мають виражену специфіку умов праці, а також умов взаємодії підприємств із навколишнім середовищем. У технологічних процесах мікроелектроніки використовують велику кількість токсичних речовин, вибухо- та пожежонебезпечних газів та рідин. Для виробництва інтегральних схем (ІС) потрібне енергоємне обладнання з високим напруженням струму, високотемпературні печі, ультразвукові, електронно-променеві та лазерні установки, обладнання для механічної обробки матеріалів.

Прогрес у мікроелектроніці немислимий без розробки нових матеріалів та технологічних процесів для виробництва інтегральних схем та мікроелектронної апаратури, а також обладнання, на якому реалізуються ці технологічні процеси. Все це супроводжується виникненням нових небезпечних та шкідливих факторів виробництва.

Сучасне виробництво ІС включає: процеси механічної обробки матеріалів;

- процеси отримання епітаксійних шарів;
- процеси окислення;
- процеси дифузії та іонної імплантації;
- процеси літографії;
- процеси плазмохімічного травлення;
- процеси хімічної обробки пластин; процеси отримання діелектричних

та металевих плівок;

- допоміжні операції (підготовка обладнання, хімічна обробка, контрольні процеси, приготування розчинів) тощо.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						55
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

При проведенні технологічних процесів використовуються екологічно небезпечні речовини: травники на основі мінеральних кислот та лугів; розчини для хімічної обробки, що містять сірчану, соляну та азотну кислоти; технологічні гази: моносилан, фосфін, арсин, диборан, елегаз, хлор, фтор, фреони; бір, фосфор, сурма; органічні сполуки: ацетон, ДМФА, толуол та ін. Поверхні пластин напівпровідникових матеріалів, використовуваних при виготовленні ІС, піддаються ретельній очистці. Метод очищення залежить від виду забруднень та їх впливу на подальшу технологічну операцію. Найбільше поширення набула очищення, що складається з промивання в деіонізованій або дистильованій воді, травлення кислотами, обробки йонним бомбардуванням і в тліючому розряді.

Механічне очищення найефективніше проводити в ультразвуковій ванні. І хоча очищення проводиться з використанням апаратури, що працює в низькочастотному діапазоні (до 40 кГц) при середніх потужностях ультразвукових коливань, необхідно вживати заходів щодо захисту працюючих від шкідливого впливу ультразвуком. Ультразвукові установки повинні бути обладнані звукоізолюючими кожухами або екранами та блокуванням, що відключає перетворювачі при відкриванні кожухів. При неможливості знизити шум за допомогою кожухів та екранів до допустимих величин технологічну частину ультразвукових установок необхідно розміщувати у звукоізованих кабінах, куди можуть заходити липи, безпосередньо пов'язані з обслуговуванням установки, використовуючи при цьому індивідуальні засоби захисту. При роботі ультразвукових установок повинна бути повністю виключена можливість безпосереднього контакту рук працюючого з рідиною та очищають поверхню.

Слід звернути увагу на дотримання запобіжних заходів при роботі з розчинниками, в якості яких використовуються ЛЗР (толуол, бензол, дихлоретан та ін.), які надають різко виражену токсичну дію на життєво важливі органи людини. Операцію хімічного очищення необхідно проводити у витяжних шафах, що мають ефективну та надійно діючу систему витяжної

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		56

вентиляції з використанням індивідуальних засобів захисту шкірних покривів.

При виготовленні ІС за планарною технологією використовують термічне (високотемпературне) окислення кремнію в різних окисних середовищах: у сухому та вологому кисні, у парах води. Установки термічного окислення кремнію поряд з іншим спеціальним обладнанням мікроелектроніки (дифузійними установками, установками вакуумного наплення тощо) належать до класу обладнання з контрольованою середою. Проектування та експлуатація такого обладнання потребує дотримання особливих заходів безпеки.

При роботі з контрольованими газовими середовищами слід мати на увазі, що до їх складу можуть входити горючі, вибухонебезпечні та токсичні гази. Тому концентрація горючих (вибухонебезпечних) газів у повітрі приміщень, де експлуатується обладнання з контрольованою газовою середою, не повинна бути вищою за нижню межу їх вибуховості, а концентрація токсичних газів не повинна перевищувати ГДК. Залежно від ступеня токсичності газу, використововуваного в технологічному процесі, необхідно проведення постійного або періодичного аналізу повітря у виробничому приміщенні, для чого в місцях можливого скупчення встановлюються автоматичні газоаналізатори, що сигналізують про небезпечну концентрацію газів у приміщенні. При застосуванні як контрольованої середовища інертних газів повинні бути вжиті заходи, що виключають витіснення цими газами кислорода з виробничих приміщень. Вміст кислорода (за обсягом) у повітрі виробничого приміщення повинно бути не нижче 18%.

Приміщення, в яких розміщено обладнання з контрольованою газовою середою, та саме обладнання повинні оснащуватися системою припливно-витяжної вентиляції; при цьому враховуються фізичні властивості та хімічний склад застосовуваних газових середовищ та газів, що виділяються у виробниче приміщення. Пульти (панелі управління), приводи механізмів, крани (вентилі) на трубопроводах слід розташовувати в таких місцях, щоб особи, які працюють з обладнанням, що не піддавалися впливу інфрачервоних

випромінювань,					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист 57
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

енергій інтенсивних випромінювань радіочастот, високих температур тощо.

Робочі місця оснащуються також необхідними захисними засобами (екранами зі світлофільтрами, рукавичками та рукавицями з теплоізолювальної або двошарової бавовняної тканини, захисними окулярами зі світлофільтрами та ін.).

Для попередження персоналу про можливу аварію, а також для автоматичної ліквідації аварійних ситуацій у конструкції обладнання передбачаються система сигналізації, запобіжні пристрої та блокування безпеки. Крім того, обладнання оснащується необхідними приладами та пристроями для контролю складу та витрати контрольованої газової середовища (ротаметрами, витратомірами, газоаналізаторами тощо). [24].

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						58
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		

ВИСНОВОК

В атестаційній роботі бакалавра була розроблена комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю індуктивності та ємності компонентів електронних схем.

В роботі були виконані такі завдання:

- побудовано структурну та принципово-електричну схему системи;
- зроблений вибір елементної бази та спроектовано друковану плату;
- розроблений алгоритм та програма для калібровки та обчислення результатів вимірювання;
- розраховано похибку вимірювання системи, вона не перевищує значенню в технічному завданні;
- розрахована надійність системи та описана охорона праці.

Розроблена вимірювальна система може вимірювати індуктивність у межах від 0 до > 10 мГн, ємність від 0 до $> 0,1$ мкФ із похибкою не більше 1%. Надійність системи склала 14 000 годин. Живлення системи становить 9 В.

Переваги розробленої вимірювальної системи полягають в наступному: в швидкодія, простота в експлуатації, високоточність, невелику споживана потужність, доступність по ціні.

					МММТ.470.013.013 - ПЗ	Лист
						59
Зм	Лист	№ докум	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 електронних компонентів LCR-T4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alibuy.uz/aksessuary-i-zapchasti/324-lcr-esr-meter-mega328-cifrovoj-kombinirovannyj-tranzistornyj-tester.html>.
3. Мультиметр універсальний Uni-t UT120B [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://radio-shop.com.ua/multimetr-universalnyy-ut120b-avtomat>.
4. RLC вимірювач DT-9935 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simvolt.ua/ru/rlc-metr-cem-dt-9935.html>.
5. . Вимірювач RLC E7-22 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://masteram.com.ua/uk/rlc-meter-chy-firemate-41-r-e7-22>.
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.470.013.013 - ПЗ</i>	Лист
Зм	Лист	№ докум	Підпис	Дат		60

