

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: **Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна
система контролю ємності та індуктивності компонентів
електронних схем**

Виконав: студент 2 курсу, групи МТ-1м
Спеціальності: 152 «Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка»

Вакарюк Я.А

(прізвище та ініціали)

Керівник: доктор технічних наук, професор
Подчашинський Ю.О.

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

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент
Добржанський О.О.

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

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

Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри метрології та
інформаційно-вимірювальної техніки
д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 19 » листопада 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

Студент Вакарюк Ярослав Анатолійович

1. Тема роботи: Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем

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

затверджена наказом по університету від « 9 » листопада 2023 р. № 129/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 29 » грудня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи вимірювання індуктивності та ємності компонентів електронних схем, вмикання/вимикання системи, вивід виміряних значень на дисплей; відпрака виміряних даних через Wi-fi модуль; розрахунок метрологічних характеристик та їх оцінка, галузь застосування інформаційно-вимірювальні системи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз існуючих методів вимірювання та контролю параметрів індуктивності та ємності та інформаційно-вимірювальних систем, розробка методу вимірювань індуктивності та ємності та структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювального каналу, розробка алгоритму та програми обробки вимірювальної інформації, розрахунок гркбої похибки вимірювання

5. Перелік графічного матеріалу

структурна схема об'єкту вимірювань, структурна схема інформаційно-вимірювальної системи, блок-схема алгоритму обробки вимірювальної інформації

6. Консультанти кваліфікаційної роботи магістра із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Лугових О.О.		
3-4	Подчашинський Ю.О.		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз джерел інформації	01.10.23 – 05.10.23	Виконано
2	Формулювання завдань кваліф. роботи	06.10.23 – 10.10.23	Виконано
3	Вибір методу вимірювань індуктивності та ємності	25.10.23 – 09.11.23	Виконано
4	Розробка структурної схеми	11.10.23 – 15.10.23	Виконано
5	Вибір складових елементів вимірювальної системи	16.10.23 – 24.10.22	Виконано
6	Розробка принципово-електричної схеми	10.11.23 – 22.11.23	Виконано
7	Розробка блок-схеми алгоритму та програми роботи	23.11.23 – 03.12.23	Виконано
8	Розрахунок та оцінка метрологічних характеристик	04.12.23 – 10.12.23	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентаційного матеріалу	11.12.23 – 17.12.23	Виконано

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Вакарюк Я.А.

(прізвище та ініціали)

Подчашинський Ю.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Комп'ютеризована система вимірювання та контролю параметрів індуктивності та ємності компонентів електронних схем».

В дипломній магістерській роботі розроблена комп'ютеризована система вимірювання та контролю параметрів індуктивності та ємності компонентів електронних схем, що має підвищити точність та розширити функціональні можливості.

Виконано аналіз існуючих методів вимірювання та контролю параметрів індуктивності та ємності. Сформульовано вимоги та вибрано складові елементи системи. Удосконалено методи вимірювання ємності та індуктивності в частині програмно-алгоритмічної обробки вимірювання інформації. Розроблена структурна та принципова електрична схема. Розроблена блок-схема алгоритму роботи системи та відповідна програма. Для контролю та обробки вимірювальних даних було обрано мікроконтролер PIC16F1938.

Ключові слова: індуктивність, ємність, метод резонансу, бездротова передача даних, мікроконтролер.

ANNOTATION

Master's thesis on the topic "Computerized Measurement and Control System for the Parameters of Inductance and Capacitance in Electronic Circuit Components."

In this master's thesis, a computerized system for measuring and controlling the parameters of inductance and capacitance in electronic circuit components has been developed, aiming to enhance accuracy and broaden functional capabilities.

An analysis of existing methods for measuring and controlling the parameters of inductance and capacitance has been conducted. Requirements have been formulated, and the components of the system have been selected. Methods for measuring capacitance and inductance have been improved, particularly in terms of programmatic and algorithmic processing of measurement information. A structural and schematic electrical diagram has been devised. A flowchart outlining the system's operation and the corresponding program have been developed. The PIC16F1938 microcontroller was chosen for the control and processing of measurement data.

Keywords: inductance, capacitance, resonance method, wireless data transmission, microcontroller.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ	11
1.1. Огляд існуючих рішень з вимірювання індуктивності та ємності та побудови інформаційно-вимірювальних систем	11
1.2. Опис індуктивності та ємності як об'єкта вимірювання.....	23
1.3. Формулювання завдань, що вирішуються в роботі	25
Висновки до першого розділу	26
2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ.....	28
2.1. Фізичні принципи вимірювання і метод вимірювання індуктивності та ємності	28
2.2. Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи	30
2.3. Обґрунтовування типу мікроконтролера	31
2.4. Обґрунтовування типу стабілізатора напруги.....	32
2.5. Обґрунтовування типу дисплею	33
2.6. Обґрунтовування типу кварцового резонатора.....	34
2.7. Обґрунтовування типу кнопки.....	35
2.8. Обґрунтовування типу акумулятора.....	35
2.9. Обґрунтовування типу WI-fi модуля.....	37
2.10. Математична модель вимірювального каналу	37
2.11. Методи програмно-алгоритмічної обробки сигналів вимірювальної інформації	39
Висновки до другого розділу	50
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ.....	51
3.1. Вибір мікроконтролера	51
3.2. Вибір стабілізатора напруги	52

3.3. Вибір дисплея.....	53
3.4. Вибір WiFi модуля.....	54
3.5. Вибір кварцового резонатора	56
3.6. Вибір кнопки	57
3.7. Вибір катушки індуктивності.....	58
3.8. Вибір акумулятора.....	59
3.9. Побудова принципової електричної схеми.....	60
Висновки до третього розділу	62
4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ	63
4.1. Розробка алгоритму роботи комп'ютеризованої інформаційно- вимірювальної системи	63
4.2. Програма роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи та середовище програмування.....	64
4.3. Розрахунок метрологічних характеристик комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи	71
Висновки до четвертого розділу	74
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
ДОДАТКИ	79

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КІВС – Комп'ютерно-інформаційна вимірювальна система

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач

ОЗП – Оперативний запам'ятовуючий пристрій

ПЗП – Постійний запам'ятовувальний пристрій

ПЗ – Програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність теми: Сучасний розвиток електронної техніки невіддільно пов'язаний з використанням індуктивності та ємності у складі RLC-ланцюгів. Ці властивості електричних компонентів, таких як котушки індуктивності та конденсатори, грають важливу роль у фільтрації сигналів та генерації електричних коливань. Однак вимірювання індуктивності та ємності залишається актуальною проблемою через знос та виходження з ладу цих елементів.

Важливість цього дослідження полягає в поліпшенні процесів діагностики та обслуговування електронних пристроїв, а також у підвищенні точності вимірювань. Дослідження ґрунтується на матеріалах з метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, і використані методи дозволяють отримати високоточні результати вимірювань. Розробка комп'ютеризованої системи вимірювання може знайти широке застосування в електронній промисловості та області ремонтних робіт.

Мета роботи полягає в розробці комп'ютеризованої системи вимірювання, що має підвищену точність та розширені функціональні можливості при визначенні індуктивності та ємності компонентів електронних схем.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання індуктивності та ємності компонентів електронних схем, що здійснюється комп'ютеризованою інформаційно-вимірювальною системою.

Предметом дослідження є комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система визначення та контролю індуктивності та ємності компонентів електронних схем, що використовує явище резонансу та програмні методи обробки сигналів вимірюваної інформації.

Задачі:

Для досягнення поставленої мети роботи було поставлено та вирішено технічні задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи вимірювання індуктивності та ємності.

2. Описати об'єкт та предмет дослідження.
3. Вдосконалити елементи автоматизації – мікроконтролер, елементи передачі та відображенні оброблених даних.
4. Інтегрувати бездротові засоби у систему для передачі даних.
5. Розробити структурну схему для вимірювання індуктивності та ємності компонентів електронних схем .
7. Розробити схему електричну принципову для вимірювання індуктивності та ємності компонентів електронних схем.
8. Розробити блок-схему алгоритму та відповідну програму роботи

Методи дослідження: Порівняльний аналіз та оцінка літературних джерел з теми роботи. Використання метода резонансу для визначення індуктивності, ємності та їхніх змін в часі. Розробка методів побудови інформаційних баз даних про параметри індуктивності та ємності компонентів електронних схем.

Наукова новизна:

- удосконалення структурної схеми комп'ютеризованої системи шляхом введення модулів бездротової передачі даних,
- удосконалено метод визначення індуктивності індуктивності та ємності електронних компонентів на основі явищ резонансу та чисельного обрахунку результатів з подальшою реалізацією в програмно-алгоритмічній обробці засобів комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем.

Практична цінність отриманих результатів: Створено інформаційно-вимірювальну систему для визначення та контролю параметрів індуктивності та ємності компонентів електронних схем. Розроблено технічні та програмно-алгоритмічні засоби, що дозволяє виміряти та контролювати параметри компонентів, і на цій основі визначити працездатність електричної схеми.

Робота складається з 90 сторінок і включає 21 рисунок, 15 формул, 36 посилань на літературу та 3 додатків. Звіт розбито на чотири розділи.

Публікації. За темою атестаційної магістерської роботи було опубліковано 2 статті та тези:

1. Вакарюк Я.А., Лугових О.О. Комп'ютеризована система вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем. Тези XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології», 30–31 березня 2023 р. Житомир : "Житомирська політехніка", 2023. С. 152-155.

Режим доступу:

<https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/povnyy-tekst.pdf>.

2. Вакарюк Я.А., Лугових О.О. Комп'ютеризована система вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 16–20, 26 травня 2022 року. Житомир : «Житомирська політехніка», 2022. С. 54-55.

Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/06/4-2.pdf>.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ІНДУКТИВНОСТІ ТА ЄМНОСТІ

1.1. Огляд існуючих рішень з вимірювання індуктивності та ємності та побудови інформаційно-вимірювальних систем

Індуктивність L і ємність C вимірюють непрямим методом, за допомогою амперметра, ватметра і вольтметра, для отримання більш точних результатів застосовують мостовий метод та метод резонансу. До вимірювальних приладів безпосередньої оцінки значення вимірюваної ємності відносяться мікрофарадметри, дія яких базується на залежності струму або напруги ланцюга змінного струму від значення включеної до неї вимірюваної ємності.

Методом амперметра-вольтметра вимірюють порівняно великі ємності та індуктивності, при живленні схеми джерела низької частоти 50 - 1000 Гц. Перевагою цього є відносна простота і дешевизна при прийнятній точності для великих індуктивностей. Недоліком є те, що точність даного методу суттєво залежить від величини співвідношення активної та індуктивної складової опору котушки. Для вимірювання малих ємностей (не більше 0,01 - 0,05 мкФ) і високочастотних котушок індуктивності в діапазоні їх робочих частот широко використовують резонансні методи.

Метод резонансу є ефективним інструментом для визначення параметрів RLC-компонентів через їх взаємодію з резонансною системою. Нижче наведено деякі ключові аспекти цього методу. Використання резонансу передбачає, що існує особлива частота, при якій реактивний опір індуктивності і ємності урівноважують один одного, імпеданс стає максимальним, а струм стає мінімальним. Резонансна частота пов'язана з індуктивністю та ємністю за формулою резонансу:

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.1)$$

Вимірювання частоти резонансу дозволяє отримати значення індуктивності та ємності. Резонансна схема зазвичай включає генератор високої частоти. Змінюючи частоту генератора, можна виявити точку резонансу, де вимірюються параметри індуктивності та ємності. Після виявлення точки резонансу визначають значення індуктивності та ємності за відомою формулою.

Щодо переваг то цей метод може бути досить точним, але точність вимірювань може залежати від кількох факторів, таких як якість компонентів та параметри генератора частоти. Тому важливо враховувати можливий вплив інших компонентів схеми на точність вимірювань, якщо це необхідно.

При замірі елементів, зазвичай, не потрібна якась виняткова точність ($\pm 10\%$). Виявилось, що цю проблему можна вирішити за допомогою оригінальної ідеї - перекласти весь тягар вимірювань на комп'ютер, навіть не змінюючи в його конструкції.

Уже нікого не здивуєш тим, що комп'ютер може стати головною ланкою у вимірювальній чи аналітичній апаратурі. Для цих цілей, зазвичай, використовуються спеціальні модулі або плати розширення – дороге та рідкісне обладнання. Адже зовсім інша справа - найпростіший комп'ютер перетворити на цифровий мультиметр без будь-яких додаткових апаратних доробок та фінансових витрат. Вимірювальний прилад з ПК виходить за допомогою лише програмних засобів.

Існує два види електричного опору: реактивний та активний. Реактивний опір – це опір котушок індуктивності (дроселів) та конденсаторів. Активний опір (R) - це звичайний резистор, опір якого, загалом, не залежить від роду струму. Розмір реактивного опору вже залежить від частоти струму. Так на постійному струмі реактивний опір конденсатора спрямовується до нескінченності, а дроселя навпаки – до нуля (без урахування активної складової опору дроту).

Індуктивність котушки легко обчислюється за відомим опором та заданою частотою струму. При цьому фази напруги та струму дроселя

індуктивності зсуваються відносно один одного, і тепер відстає струм від напруги на 90° .

Для вимірювання реактивного опору ємності та індуктивності знадобиться, насамперед, змінний струм синусоїдальної форми. Із завданням програмного генератора з легкістю може впоратися звукова плата комп'ютера. Інша проблема - визначення величини електричного опору вимірюваного елемента. Але виявляється і це завдання можна вирішити програмним шляхом, за допомогою тієї ж звукової плати, не вдаючись до спеціальних аналого-цифрових перетворювачів. Все це робить програма Multi Meter, використовуючи вельми оригінальний спосіб для вимірювання електричного опору, ємності та індуктивності.

Більше широко для вимірювання параметрів конденсаторів та індуктивностей застосовують урівноважені мости змінного струму, що дозволяють отримати малу похибку вимірювання (до 1%). Живлення моста здійснюється від генераторів, що працюють на фіксованій частоті 400–1000 Гц. Як індикатори застосовують випрямні або електронні мілівольтметри, а також осцилографічні індикатори.[1]

В електровимірювальній техніці цей метод застосовуються для вимірювання параметрів електричного ланцюга, їх перетворення в електричні сигнали як фільтри і т. д. У загальному випадку мостовим ланцюгом, або мостом, називають такий електричний ланцюг, в якому можна виділити дві гілки із взаємним опором, рівним нескінченності при певному співвідношенні параметрів елементів ланцюга, що дорівнює кінцевому значенню, якщо це співвідношення не виконується. Співвідношення параметрів елементів ланцюга, що забезпечують взаємний опір виділених гілок рівним нескінченності, називають умовою або рівнянням у рівноваги ланцюга.

Розрізняють мостові ланцюги постійного та змінного струму, залежно від виду напруги, що живить мостовий ланцюг. Перший застосовуються для вимірювання опору електричного ланцюга постійного струму, а також перетворення опору в струм або напруги.

Похибка результату вимірювання параметрів мостовим методом залежить від багатьох причин. У врівноважених мостах джерелами похибок є:

- невідповідність значень параметрів елементів плечей моста (опорів, ємностей, індуктивностей) їх номінальним значенням, тобто похибки елементів плечей моста;
- недостатня чутливість моста до вимірюваного параметра, що не дозволяє точно встановити стан рівноваги моста, внаслідок чого зчитування результату вимірювання проводиться із мостової схеми, яка не врівноважена до кінця, і рівняння рівноваги точно не виконується;
- невраховані опори сполучних проводів, ізоляції, наявність ємнісних зв'язків елементів мосту між собою та із зовнішніми предметами тощо;
- перешкоди, зумовлені дією зовнішніх електричних та магнітних полів.

До перелічених вище джерел похибок у нерівноважених мостах додається похибка вимірювального приладу, включеного в діагональ навантаження моста, невідповідність напруги живлення моста до номінального значення і методична похибка, обумовлена не лінійністю функції перетворення моста. Бажано нерівноважені мости застосовуючи в основному для порівняно грубих вимірів, коли допускається похибка виміру більше 1% діапазону вимірюваної величини.

Метод вимірювання часової константи є технікою, яка використовується для вимірювання ємності та індуктивності на основі часової відповіді електронного компонента на кроковий вхідний сигнал. Цей метод особливо ефективний для низькочастотних застосувань, де варіації ємності та індуктивності є критичними. Давайте детальніше розглянемо:

1. Принцип вимірювання (вимірювання ємності):

Коли конденсатор підключено до джерела напруги через відомий резистор, напруга на конденсаторі змінюється від нуля до стабільного значення.

Час, необхідний для досягнення напруги на конденсаторі певного відсотка (зазвичай 63,2%) від максимальної напруги, відомий як часова константа (τ).

Ємність (C) можна визначити за формулою: $C = \tau / R$, де R - опір.

Вимірювання індуктивності:

Коли котушка індуктивності підключений до джерела напруги через відомий резистор, струм через індуктор змінюється від нуля до стабільного значення.

Час, необхідний для досягнення струму через індуктора певного відсотка (зазвичай 63,2%) від максимального струму, є часовою константою (τ).

Індуктивність (L) можна розрахувати за формулою $L = \tau / R$, де R - опір.

3. Переваги:

Підходить для низьких частот: Метод ефективний для низькочастотних застосувань, де зміни ємності та індуктивності є критичними.

Проста реалізація: Метод відносно простий у використанні, що робить його відповідним для базових вимірювань ємності та індуктивності.

Висока роздільна здатність: Забезпечує високу роздільну здатність та точність вимірювань невеликих значень ємності та індуктивності.

4. Недоліки:

Залежність від опору: Точність вимірювань залежить від точності використаного резистора в схемі.

Чутливість до паразитних елементів: Паразитні опори та інші елементи в схемі можуть впливати на точність вимірювань.

Обмежена застосовність: Метод може бути менш ефективним для вимірювання великих значень ємності та індуктивності.

5. Застосування:

Метод часової константи застосовується в низькочастотних електронних схемах.

Він часто використовується в схемах, де необхідно точно вимірювати невеликі зміни ємності та індуктивності.

Загалом метод часової константи є цінним прийомом для вимірювання ємності та індуктивності в низькочастотних застосуваннях. Незважаючи на його простоту та високу роздільну здатність, необхідно враховувати його

обмеження, такі як чутливість до варіацій опору та обмежена застосовність в високочастотних сценаріях. Розуміння принципів та компромісів, пов'язаних із цим методом, важливе для точних вимірювань в електронних схемах.[2]

Комп'ютеризовані системи вимірювання (КСВ) представляють сучасний рівень розвитку вимірювальної техніки. Вони використовують інформаційно-вимірювальні системи для автоматизованого збору та аналізу даних. Сучасні вимірювальні прилади з ІВС застосовують різні методи вимірювання для отримання точних результатів.

КІВС індуктивності та ємності становлять передовий підхід до проведення вимірювань, в якому комп'ютери та інформаційні технології використовуються для автоматизації, контролю та обробки даних в процесі вимірювань. Цей підхід сприяє підвищенню точності, ефективності та зручності проведення вимірювань. Використання сучасних технологій дозволяє оптимізувати вимірювальні процеси та забезпечує новий рівень якості в області вимірювань індуктивності та ємності.

Автоматизовані системи вимірювань стають необхідним аспектом у проведенні точних та ефективних вимірювань індуктивності та ємності компонентів електронних схем. Ці системи взаємодіють з вимірювальним обладнанням та сенсорами, автоматично зчитуючи необхідні дані.

Комп'ютер, що управляє автоматизованою системою, координує процес вимірювань, встановлює необхідні параметри для точного визначення індуктивності та ємності. Завдяки цьому, вимірювання стають доступними безпосередньо та без зайвих зусиль оператора.

Отримані дані піддаються автоматичній обробці, включаючи визначення індуктивності та ємності за встановленими формулами. Результати можуть бути графічно відображені для зручності аналізу та інтерпретації.

Окрім цього, автоматизовані системи ведуть моніторинг динаміки змін у часі, сповіщаючи про виявлені аномалії чи відхилення від нормативів. Збереження та інтеграція отриманих даних забезпечують комплексний погляд на вимірювання, спрощуючи їх аналіз у контексті електронних схем. Такий

підхід робить вимірювання індуктивності та ємності максимально зручними та ефективними.

Інформаційна обробка в комп'ютеризованих системах вимірювань (КСВ) відіграє ключову роль у процесі вимірювань індуктивності та ємності електронних компонентів. Після збору даних сенсорами, які взаємодіють з об'єктом вимірювань, комп'ютер використовує різні алгоритми для їх обробки, визначення значень індуктивності та ємності, а також врахування можливих факторів, що впливають на точність вимірювань.

Цей процес не лише гарантує точні та надійні результати вимірювань, але й забезпечує зручний вивід результатів. Інформаційна обробка може представляти дані у формі графічного інтерфейсу чи на електронному дисплеї, роблячи їх доступними та зрозумілими для користувача.

Однією з основних переваг такого підходу є можливість автоматизації процесів калібрування та корекції помилок, що дозволяє досягти максимальної точності вимірювань. Цей метод інформаційної обробки сприяє ефективній реалізації вимірювань та використанню отриманих даних для подальших наукових та технічних досліджень в галузі електроніки.

Сучасні системи вимірювання, які включають мікроконтролери, є важливою складовою комп'ютеризованих систем вимірювань (КСВ), використовуваних для вимірювання індуктивності та ємності в електронних компонентах. Ці системи використовують вбудовані мікроконтролери для автоматизації та контролю вимірювань.

Сучасні мікроконтролери володіють значною обчислювальною потужністю та можливостями ефективної взаємодії з різноманітними сенсорами. Вони дозволяють впроваджувати складні алгоритми обробки даних, спрощуючи вимірювання та забезпечуючи отримання точних та оперативних результатів.

Мікроконтролерні системи забезпечують можливість зв'язку з зовнішніми пристроями та забезпечують зручний інтерфейс для користувача. Їх гнучкість дозволяє адаптувати систему до різних завдань вимірювань та оптимізувати обробку даних.

Отже, сучасні мікроконтролерні системи грають ключову роль у розвитку та удосконаленні комп'ютеризованих систем вимірювань, спрощуючи процес вимірювань і підвищуючи їхню точність та ефективність.

Існує безліч приладів для вимірювання індуктивності та ємності в електроніці та електротехніці. Ось деякі з них:

LCR-метр LUTRON LCR-9172 є портативним професійним пристроєм для вимірювання параметрів LCR (індуктивність, ємність, активний опір) та додаткових параметрів, таких як добротність (Q), коефіцієнт загасання (D), кут діелектричних втрат (θ).



Рис. 1.1. - LCR-метр LUTRON LCR-9172

Завдяки ергономічному дизайну, міцному корпусу та компактним розмірам, пристрій забезпечує надійне вимірювання навіть у польових або промислових умовах. Розпоряджений дворядним РК-дисплеєм, який відображає значення до 6000, LUTRON LCR-9172 має вбудовані функції вимірювання DCV, LCR, DCR, автоматичного вимкнення живлення, утримання результатів вимірювання на дисплеї та індикацію низької напруги акумулятора. Крім того, є можливість вибору послідовного/паралельного режимів вимірювання, що полегшує роботу користувача.

LCR-метр LUTRON LCR-9172 призначений для вимірювання індуктивності (L), ємності (C), опору (R), коефіцієнта загасання (D), добротності (Q), кута зміщення фази (θ), а також еквівалентного послідовного опору конденсаторів і котушок індуктивності на різних частотах

вимірювання. Прилад придатний для використання в конструкторських бюро і лабораторіях з розробки радіоелектронних пристроїв, а також у виробництві прецизійної електроніки та при ремонті радіоелектронних пристроїв.

Основні особливості та переваги LCR-метра LUTRON LCR-9172 включають ергономічний дизайн, компактні розміри для роботи в умовах зниженої доступності простору, високий рівень точності вимірювань до 6000 відліків, вбудовану функцію вимірювання DCV, широкий діапазон випробувань для L/C/R, можливість вибору режимів вимірювання та інші. Також варто відзначити високопродуктивний аналоговий інтерфейс для вимірювання опору (Z) та підтримку звукового сигналу з можливістю керування та частотою вибору.[3]

Давайте розглянемо вимірювач LC MLC500, він є автоматичним тестером компонентів, придатним для роботи до 500 кГц та призначеним для вимірювання конденсаторів та індукторів малих значень. Забезпечує високу стабільність та роздільну здатність до 5 цифр. Даний вимірювач пропонує два методи вимірювання - колювання LC та RC-колювання. Останнє використовується для ємності з великим значенням, в той час як колювання LC ідеально підходить для вимірювання малих значень.



Рис. 1.2. - Вимірювач LC MLC500

Особливості включають можливість зв'язку з комп'ютером через USB-порт, два діапазони (small і large) для конденсаторів та індукторів, а також режим автоматичного вибору діапазону, що робить вибір необов'язковим.

Також доступні індикація напруги на конденсаторі та можливість розрахунку часу RC-ланцюга.

Щодо характеристик, вимірювач має роздільність 0,01 пФ для конденсаторів та 0,001 мкГн для індуктивностей, а максимальні значення становлять 100 мФ для конденсаторів та 100 Гн для індуктивностей. При цьому погрішність не перевищує 1% у діапазоні small та 3% у діапазоні large. Частота перевірки знаходиться в межах 10-500 кГц для обох типів компонентів.

Переваги вимірювача LC MLC500:

1. Висока стабільність та роздільна здатність: Забезпечує вимірювання з високою точністю та роздільністю до 5 цифр.
2. Автоматичний вибір діапазону: Можливість використання автоматичного режиму вибору діапазону, що полегшує процес вимірювань.
3. Зв'язок з комп'ютером: Можливість підключення до комп'ютера через USB-порт для зручності обробки та збереження даних.
4. Широкий діапазон вимірювань: Дозволяє вимірювати індуктивність та ємність від 0,00 пФ до 100,00 мФ та від 0,000 мкГн до 100,00 Гн.
5. Індикація напруги та розрахунок часу RC-цепі: Додаткові функції, такі як відображення напруги на конденсаторі та розрахунок часу RC-цепі, розширюють можливості вимірювача.

Недоліки вимірювача LC MLC500:

1. Обмежений частотний діапазон: Максимальна частота вимірювань обмежена до 500 кГц, що може бути недостатньо для вимірювань в деяких застосуваннях.
2. Обмежений діапазон індуктивності: Діапазон вимірювань індуктивності обмежений до 100 Гн, що може бути недостатньо для деяких додаткових застосувань.
3. Погрішність в деяких діапазонах: У деяких діапазонах (наприклад, large) погрішність може збільшуватися до 3%, що може вплинути на точність вимірювань.

4. Залежність від внутрішнього резистора: Розрядження конденсатора через внутрішній резистор може впливати на точність вимірювань в ряді випадків.

5. Необхідність калібрування: Як будь-який вимірювальний прилад, MLC500 вимагає періодичного калібрування для забезпечення точних результатів.[4]

Siglent SDM3045X - це високоточний цифровий мультиметр, спеціально призначений для швидких і точних вимірювань. Він поєднує в собі широкий спектр математичних функцій і функцій статичного аналізу, роблячи його ідеальним для вимірювань постійного/змінного напруги і струму, опору, ємності, частоти, періоду, температури, а також для тестування діодів і провідності кола.



Рис. 1.3 - Siglent SDM3045X

Основні характеристики цього мультиметра включають велику роздільну здатність в $4\frac{1}{2}$ розряди (60 000 відліків), швидкість вимірювань до 150 показів в секунду, функцію вимірювання середньоквадратичних значень змінної напруги і струму (True RMS), а також MIN, MAX, HOLD функції.

Мультиметр включає різноманітними інтерфейсами, включаючи USB Device, USB Host, LAN. Він має 4,3-дюймовий TFT ЖК дисплей, що робить його зручним для наукових досліджень, промислового тестування та інших застосувань. Загальний обсяг пам'яті становить 1 ГБ, що дозволяє зберігати налаштування.

Цей мультиметр також підтримує вбудовану компенсацію для термопар і може працювати з різними типами інтерфейсів, такими як USB і LAN. В комплекті поставляється зручне програмне забезпечення EasyDDM, а також вимірювальні проводи та затискачі типу "крокодил".[5]

Мультиметр MASTECH MY6243 - це високоефективний вимірювальний прилад, спеціально призначений для вимірювання індуктивності котушок і ємності конденсаторів. Цей професійний спеціалізований вимірювальний прилад вражає своїми технічними характеристиками та зручністю в експлуатації.



Рис. 1.4 – Вимірювач індуктивності та ємності MASTECH MY6243

Індуктивність і ємність: MASTECH MY6243 спеціалізується на точних вимірюваннях індуктивності котушок і ємності конденсаторів, роблячи його неперевершеним для радіотехнічних і електронних застосувань.

Точність вимірювань: Прилад відрізняється високою точністю вимірювань, що робить його схожим до дорогих професійних пристроїв. Вимірювання індуктивності і ємності виконуються з високою ефективністю.

Стійкість до магнітних полів: MY6243 може працювати в умовах сильних магнітних полів завдяки спеціальному захисту, який гарантує високу точність вимірювань навіть у таких умовах.

Компактність та мобільність: Прилад оснащений підставкою для роботи на столі або кріплення на стіну, що дозволяє пристрою бути зручним для роботи в різних умовах.

Захисний кожух: MY6243 включає надійний захисний кожух, що забезпечує надійний захист як корпусу пристрою, так і його електронних компонентів.

Зручний інтерфейс: Дисплей мультиметра має великий розмір і високу контрастність, що дозволяє зручно спостерігати за вимірюваннями. Поворотний перемикач має надійну фіксацію, що запобігає випадковому перемиканню.

Додаткові можливості: MY6243 має роз'єми для закріплення конденсаторів або котушок, спеціальний символ для попередження про низький заряд батареї та інші зручні функції.

Технічні характеристики мультиметра MASTECH MY6243:

- Опір: до 200 мкФ;
- Індуктивність: до 2 Гн;
- Живлення: батарея 9 В типу Крона;
- Розмір: 18.9 x 9.1 x 3.15 см;
- Вага: 300 г.[6]

1.2. Опис індуктивності та ємності як об'єкта вимірювання

Обрано метод резонансу для вимірювання параметрів ємності та індуктивності в системі. Перш за все, він дозволяє використовувати принцип резонансу для досягнення максимальної чутливості при вимірюванні. Створення коливального контуру, який можна налаштувати на резонансну частоту, робить систему особливо чутливою до змін ємності та індуктивності.

Другий аспект, що робить метод резонансу привабливим, це його висока точність та ефективність. Під час досягнення резонансу система надає максимальний вихідний сигнал, що полегшує визначення точної резонансної частоти. Використання чисельних методів інтерполяції та екстраполяції дозволяє отримати додаткову точність та уникнути можливих похибок.

Крім того, метод резонансу має широкий спектр застосувань і визначається своєю універсальністю у вимірюванні параметрів електричних компонентів. Він може бути ефективно використаний для вимірювань великого діапазону значень ємності та індуктивності, що робить його ідеальним вибором для вашої системи вимірювань.

Вимірювання індуктивності та ємності представляє собою процес визначення основних електричних характеристик компонентів, які визначаються їх здатністю взаємодіяти з електричними сигналами. Нижче наведено детальний опис цього процесу:

1. Підключення до вимірювального приладу: Об'єкт вимірювання, такий як конденсатор чи котушка індуктивності, підключається до вимірювального пристрою. Зазвичай, це включає в себе встановлення електродів або щупів до відповідних клем.

2. Введення сигналу: Вимірювальний прилад генерує електричний сигнал, який подається на об'єкт вимірювання. Для вимірювання ємності та індуктивності використовують різні типи сигналів, такі як змінний струм або напруга.

3. Вплив сигналу на об'єкт: Застосований сигнал спричиняє зміни в електричних властивостях об'єкта вимірювання, включаючи величину індуктивності або ємності.

4. Реєстрація параметрів: Вимірювальний пристрій реєструє параметри відгуку об'єкта вимірювання, такі як амплітуда, фазовий зсув, частота тощо.

6. Визначення індуктивності та ємності: Отримані дані піддаються обробці та аналізу. Застосовуються відповідні математичні методи для визначення величин індуктивності та ємності.

7. Вивід інформації: Результати вимірювань можуть бути представлені в різних форматах, таких як числові значення, графіки чи графічні візуалізації, що полегшує їхнє розуміння користувачем.

В цілому, вимірювання індуктивності та ємності включає в себе вивчення взаємодії електричних компонентів з електричними сигналами та визначення їхніх ключових характеристик для подальшого використання в електронних схемах та системах.

Аналіз показує, що індуктивність та ємність великою мірою визначаються їх фізичними властивостями та геометричними параметрами. Існуючі технічні рішення для вимірювання цих параметрів в основному базуються на використанні резонансних методів, зокрема визначення резонансної частоти LC-коливального контуру.

Однак існуючі засоби вимірювання можуть мати свої недоліки. До можливих недоліків можуть відноситися обмежена точність визначення параметрів, можливість впливу зовнішніх чинників на результати вимірювань, а також складність налаштування та експлуатації.

Щодо шляхів удосконалення, можливі напрямки включають в себе вдосконалення методів обробки сигналів для підвищення точності вимірювань, розробку більш стійких до впливу зовнішніх факторів систем, а також вдосконалення інтерфейсів користувача для спрощення процесу вимірювань та аналізу результатів.

Таким чином, хоча існуючі технічні рішення вже забезпечують ефективні методи вимірювань індуктивності та ємності, завданням залишається постійне удосконалення їхніх характеристик і забезпечення більшої точності та зручності в застосуванні.

1.3. Формулювання завдань, що вирішуються в роботі

Кваліфікаційна робота, спрямована на дослідження і вдосконалення систем вимірювання індуктивності та ємності, передбачає вирішення ряду

ключових завдань. Нижче подано формулювання завдань для магістерської роботи:

1. Аналіз існуючих методів вимірювання: Ретельно проаналізувати існуючі методи вимірювання індуктивності та ємності, визначити їх переваги та недоліки.

2. Вивчення методу резонансу: Детально дослідити обраний метод резонансу, визначити принцип його роботи, область застосування та можливі обмеження.

3. Розробка експериментальної установки: Спроекувати та побудувати експериментальну установку для вимірювання індуктивності та ємності за обраним методом, враховуючи точність та надійність вимірювань.

4. Розробка програмного забезпечення: Розробити програмне забезпечення для комп'ютеризовано-інформаційної вимірювальної системи, обробку та аналізу отриманих даних.

5. Експериментальні вимірювання: Виконати серію експериментів на розробленій установці, зібрати та записати дані для подальшого аналізу.

6. Обробка та аналіз результатів: Проаналізувати отримані дані, визначити точність та ефективність розробленої системи вимірювань.

7. Порівняння з існуючими рішеннями: Порівняти результати вашого дослідження з існуючими методами вимірювання індуктивності та ємності.

8. Вдосконалення та рекомендації: Запропонувати можливі шляхи вдосконалення обраного методу вимірювання та надати рекомендації для подальших досліджень у цій області.

Ці завдання стануть основою для магістерської роботи і дозволять висвітлити ключові аспекти дослідження в області вимірювання індуктивності та ємності в комп'ютеризованих системах.

Висновки до першого розділу

У процесі дослідження різноманітних методів вимірювання індуктивності та ємності було визначено кілька важливих висновків. Аналіз розкрив широкий спектр методів, від традиційних до сучасних, кожен з яких має свої переваги та обмеження. Зокрема, виявлено, що метод резонансу є вкрай ефективним та точним, особливо при його застосуванні в комп'ютеризованих системах вимірювань. Цей метод виявився найбільш оптимальним у контексті наших завдань, забезпечуючи високу точність вимірювань, чутливість до змін параметрів та ефективність в роботі з комп'ютеризованими системами вимірювань. Таким чином, після аналізу було вирішено взяти для дослідження та подальшої розробки метод резонансу як засіб вимірювання індуктивності та ємності.

Сучасні мікроконтролерні системи виявляються ключовою складовою сучасних систем вимірювань, надаючи високу обчислювальну потужність та ефективність взаємодії з різноманітними методами вимірювань. Це сприяє автоматизації процесів вимірювань та забезпечує точність та ефективність досліджень в області вимірювання індуктивності та ємності.

Напрямок на інтеграцію технологій, таких як мікроконтролери, програмне забезпечення, визначається як перспективний для оптимізації та покращення сучасних систем вимірювань. Ця інтеграція спрямована на забезпечення максимальної ефективності та зручності у проведенні вимірювань, підкреслюючи важливість автоматизованого підходу у вимірюванні параметрів електронних компонентів.

Задачами дослідження та розробки є подальше вдосконалення методу резонансу для використання в сучасних системах вимірювань. Зокрема, планується оптимізація алгоритмів обробки сигналів, інтеграція з мікроконтролерами та розробка програмного забезпечення для контролю та аналізу результатів вимірювань, з можливістю передачі даних на сервер комп'ютера. Окрім того, покладено акцент на розширення можливостей системи вимірювань з урахуванням потреб сучасних електронних технологій.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА СТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Фізичні принципи вимірювання і метод вимірювання індуктивності та ємності

Фізичні принципи вимірювання і метод вимірювання індуктивності та ємності за допомогою резонансу є фундаментальними поняттями в електронній техніці. При вимірювання індуктивності та ємності використовується резонансна частота LC-коливального контура, де L - індуктивність, а C - ємність. При резонансі індуктивність і ємність утворюють резонансний коливальний контур, а його резонансна частота може бути виміряна для визначення значень індуктивності та ємності. У цьому тексті ми розглянемо теоретичні основи, практичне використання резонансних методів для точних вимірювань в електронних системах.

Резонанс в контексті електричних кіл виникає, коли частота зовнішнього сигналу збігається з власною частотою кола. У випадку вимірювання індуктивності та ємності явище резонансу використовується для досягнення високоточних результатів. Давайте розглянемо фізичні принципи, що лежать в основі цих вимірювань.

Теоретична основа:

Поведінка котушок індуктивності та конденсаторів в електричних колах є центральною для розуміння резонансних вимірювань. Котушка індуктивності, яку зазвичай позначають символом L , чинить опір змінам струму, що протікає через неї. Він зберігає енергію у своєму магнітному полі. З іншого боку, конденсатор, позначений символом C , чинить опір змінам напруги на ньому і зберігає енергію в своєму електричному полі.

У резонансному контурі, що складається з котушки індуктивності та конденсатора (LC-контур), резонанс виникає, коли власні частоти, пов'язані з котушкою індуктивності та конденсатором, збігаються. При резонансі

реактивні ефекти компенсують один одного, в результаті чого виникає чисто резистивний імпеданс. Ця умова максимізує відгук контуру на певну частоту.

Резонансний метод вимірювання:

Метод вимірювання індуктивності та ємності за допомогою резонансу полягає в подачі зовнішнього сигналу з різною частотою на LC-контур і спостереженні за реакцією. Ключовим моментом є визначення частоти, на якій контур демонструє максимальну амплітуду або мінімальний імпеданс, що вказує на резонанс.

Для вимірювання індуктивності резонансна частота визначається шляхом зміни індуктивності при незмінній ємності. І навпаки, для вимірювання ємності змінюється ємність при незмінній індуктивності. Резонансна частота є функцією квадратного кореня з добутку індуктивності та ємності.

Практичне застосування:

Вимірювання на основі резонансу знаходять застосування в різних галузях, особливо в проектуванні і тестуванні електронних компонентів. Індуктивність і ємність є критично важливими параметрами в роботі електронних схем, і точне вимірювання має важливе значення для забезпечення належної функціональності.

Одне з практичних застосувань - налаштування радіочастотних (РЧ) ланцюгів. Резонанс дозволяє інженерам точно налаштувати значення індуктивності та ємності для досягнення оптимального прийому або передачі сигналу.

У сучасних електронних системах для автоматизації процесу вимірювання часто використовуються мікроконтролери і цифрові сигнальні процесори (DSP). Автоматизована настройка і регулювання на основі резонансу забезпечують ефективність і точність, що робить ці методи незамінними в електронному проектуванні і виробництві.

2.2. Структурна схема комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи

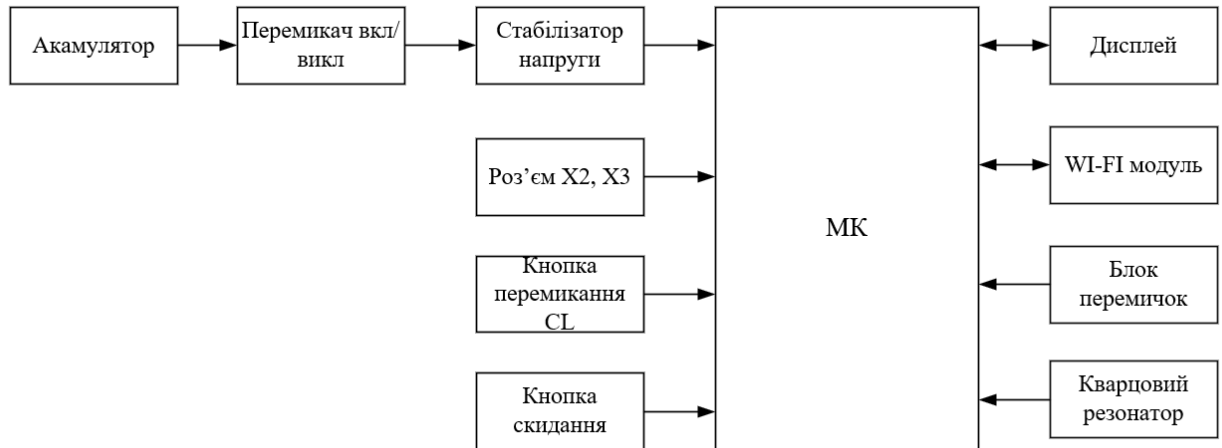


Рис. 2.1. – Структурна схема комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем

Мікроконтролер служить мозком системи, відповідальним за контроль і управління вимірювальним пристроєм. Він обробляє вхідні дані, виконує запрограмовані інструкції та забезпечує зв'язок між різними компонентами.

Акумулятор є джерелом живлення для всієї системи. Він гарантує, що вимірювальний пристрій працює незалежно від зовнішнього живлення, пропонуючи портативність і гнучкість у використанні.

Стабілізатор напруги стабілізує електричну напругу, що подається в ланцюг. Це важливо для підтримки стабільного і надійного джерела живлення, запобігаючи коливанням, які можуть вплинути на точність вимірювань.

Ці роз'єми, позначені X2 і X3, служать інтерфейсами для підключення вимірювальних щупів. Вони полегшують пряме підключення зовнішніх приладів для вимірювання ємності та індуктивності.

Вимикач живлення дозволяє користувачам вмикати та вимикати пристрій. Ця функція допомагає заощадити час роботи від батареї і гарантує, що система працює тільки тоді, коли це необхідно.

Блок переминок - це інтерфейс калібрування, який використовується для налаштування та калібрування системи для підтримки точності вимірювань. Калібрування має вирішальне значення для отримання надійних і точних результатів.

Кнопка перемикач SL призначена для зміни режиму вимірювання між індуктивністю і ємністю. Цей елемент інтерфейсу користувача підвищує універсальність системи, дозволяючи їй адаптуватися до різних вимог до вимірювань.

Кнопка скидання служить для обнулення системи, по суті, повертаючи її до початкового стану. Ця функція корисна для очищення попередніх даних вимірювань і підготовки приладу до нових вимірювань.

Дисплей забезпечує візуальне виведення вимірних значень ємності або індуктивності. Він слугує інтерфейсом користувача для представлення результатів у реальному часі, покращуючи взаємодію користувача з системою.

Модуль Wi-Fi забезпечує бездротову передачу даних між вимірювальним пристроєм і комп'ютером. Ця функція забезпечує зручність і полегшує віддалений моніторинг та отримання даних.

Кварцовий резонатор генерує електричний імпульс з частотою 20 МГц. Цей імпульс надходить на вхід мікроконтролера, забезпечуючи стабільний і точний часовий еталон для обробки показань, інформації та розрахунків відповідно до програми.

Таким чином, структурна схема ілюструє інтеграцію основних компонентів, демонструючи системний дизайн схеми для вимірювання та контролю ємності та індуктивності. Кожен елемент робить свій внесок у загальну функціональність, надійність і зручність системи.

2.3. Обґрунтування типу мікроконтролера

Мікроконтролер – це важливий елемент в системі вимірювання індуктивності та ємності. Вбудований в мікроконтролер аналого-цифровий

перетворювач (АЦП) відповідає за перетворення аналогових вимірювань, отриманих від датчиків, в цифровий формат для подальшого обробки та виведення результатів. Мікроконтролери використовуються для управління електронними пристроями та взаємодії з зовнішнім світом.

Мікроконтролер – це вбудована мікросхема, яка об'єднує в собі процесор, пам'ять (ПЗУ та ОЗП), та периферійні пристрої для управління електронними системами. Застосовується в різноманітних пристроях, включаючи побутову техніку, автомобілі, телевізори та промислові системи. Вони мають численні переваги, такі як підвищення надійності системи, зниження часу розробки та вартості, підвищення гнучкості та інші. Їхній вибір залежить від конкретного застосування та вимог до продуктивності. АЦП вбудований в мікроконтролер і виконує функцію перетворення аналогових вимірювань, отриманих від датчиків індуктивності та ємності, в цифровий формат. Це дозволяє системі ефективно обробляти та аналізувати вимірювання.

Мікроконтролер може мати вбудовану незалежну пам'ять для зберігання програм та даних. Різні моделі мають різні можливості щодо типу пам'яті, архітектури процесорного модуля та наявності периферійних пристроїв. Одним із особливостей - це різні режими енергозбереження, що дозволяє ефективно використовувати енергію. Вони можуть використовувати гарвардську архітектуру, яка відрізняється від процесорів загального призначення.

Ураховуючи всі ці особливості, мікроконтролер стає важливою складовою системи вимірювання індуктивності та ємності, забезпечуючи її ефективне та надійне функціонування.[7]

2.4. Обґрунтування типу стабілізатора напруги

Стабілізації напруги призначена для забезпечення постійної вихідної напруги в умовах змін вхідної напруги та навантаження. У світі існують два основних типи стабілізаторів: лінійні та імпульсні.

Лінійний стабілізатор працює на принципі регулювання величини опору для підтримки стабільної вихідної напруги. Це традиційний підхід, де надлишкова енергія розсіюється у вигляді тепла. Він має високу точність та стабільність, але може виявитися менш ефективним у великих системах з великою різницею вхідної та вихідної напруг.

Імпульсний стабілізатор використовує технологію імпульсного регулювання, де регулюючий елемент працює в імпульсному режимі, відкриваючись і закриваючись періодично. Він має менше втрат енергії на нагрівання, що поліпшує коефіцієнт корисної дії та дозволяє використовувати менш потужний регулюючий елемент.

Переваги імпульсного стабілізатора включають високий ККД, компактні розміри та можливість гальванічної розв'язки вхідних і вихідних ланцюгів. Проте, йому властиві імпульсні перешкоди та більша нестабільність вихідної напруги за зміни вхідної напруги чи навантаження.

Вибір між цими двома типами стабілізаторів залежить від конкретних потреб і обставин використання, а також можливостей експлуатації враховуючи вищезазначені характеристики кожного типу. [8]

2.5. Обґрунтування типу дисплею

Дисплей – це електронний пристрій, який відтворює алфавітно-цифрову інформацію для передачі даних від електронного пристрою користувачеві. Ці пристрої широко використовуються у різних галузях, таких як вимірювальні прилади, електронні годинники, термометри, калькулятори, мобільні телефони та інші.

Деякі дисплеї спроможні відображати лише цифри та обмежений набір буквено-цифрових символів. Ці сегментні індикатори складаються з декількох сегментів, таких як світлодіоди або рідкі кристали. Комбінація увімкнених та вимкнених сегментів дозволяє створювати бажаний символ або гліф.

Такі дисплеї використовуються для передачі простої інформації та цифрових значень, що робить їх ефективними у вимірювальних пристроях,

термометрах, калькуляторах та подібних пристроях. Вони забезпечують користувача необхідною інформацією в чіткому та зрозумілому вигляді.

Додаткові переваги використання дисплеїв у системах вимірювання включають:

1. Точність та чіткість відображення: Дисплеї надають можливість точно відтворювати значення вимірювань, забезпечуючи високу точність та чіткість відображення навіть при низьких рівнях освітлення.

2. Можливість налаштування: Деякі дисплеї дозволяють користувачам налаштовувати вигляд відображених даних, включаючи яскравість, контрастність та інші параметри, що підвищує зручність використання.

Різновиди дисплеїв включають LCD (рідкокристалічний), OLED (органічний світлодіод), LED (світлодіод), e-ink (електронний папір) та інші. Вибір конкретного типу дисплею залежить від вимог до системи вимірювання, середовища експлуатації та потреб користувача. [9]

2.6. Обґрунтування типу кварцового резонатора

Кварцовий резонатор (кварц) – це пристрій для генерації електромагнітних коливань з високим ступенем сталості частоти. Основою цього радіокомпонента є кварцова (або керамічна) пластина, на якій встановлені два електроди. Під дією струму пластина починає деформуватися, породжуючи вібрації певної частоти. Частота і тип вібрацій залежать від типу кристала (його розмірів, форми, товщини), кількості електродів, нанесених на кристал, а також напруги та сили струму, які на нього діють.

Застосування кварцових резонаторів: Кварцові резонатори входять у склад генераторів тактових імпульсів, які широко використовуються в сучасній цифровій техніці. Основні переваги та недоліки цих пристроїв включають:

Переваги:

Кварци можуть мати дуже невеликі розміри, до часток міліметра, що дозволяє їх використовувати у наймініатюрніших пристроях та гаджетах.

Сучасні кварцові резонатори мають високий термін служби.

Вони відзначаються високою температурною стабільністю, забезпечуючи нормальну роботу при високому нагріванні.

Недолік:

Дуже вузький діапазон підстроювання частоти зовнішніми пристроями. Для багатодіапазонних систем потрібно використовувати складні синтезатори частоти.

Усупереч одному недоліку, кварцові резонатори залишаються важливим елементом для створення ефективних та надійних систем у сучасних електронних пристроях. [10]

2.7. Обґрунтування типу кнопки

Кнопка включення або виключення – це механічний пристрій передачі сигналу чи введення інформації. Це елементарний фізичний механізм передачі електричного сигналу до різних пристроїв, що здійснюється через замикання або розмикання двох або більше контактів. Зі своєю суттю, вона є датчиком зовнішнього фізичного впливу, такого як натискання, яке подальше передається пов'язаним пристроєм. Для користувача термін "кнопка" часто асоціюється з кришкою чи конструктивною частиною механізму кнопки, на яку він натискатиме.

У більш широкому контексті кнопка може визначатися як обмежена поверхня, натискання на яку викликає подію, що може або не може викликати комутацію електричного ланцюга, але обов'язково викликає реакцію відповідного пристрою, пов'язаного з нею.

Замикання чи розмикання контактів кнопки відбувається при застосуванні заданого конструктивного зусилля вздовж уявної осі натискання, яка найчастіше перпендикулярна площині кріплення кнопки. [11]

2.8. Обґрунтування типу акумулятора

Акумулятор – це багаторазове джерело струму, спроектоване для накопичення та зберігання енергії. Його функціонування базується на оборотних окиснювально-відновних реакціях, що дозволяють

використовувати батарею багато разів. Для створення акумуляторної батареї кілька акумуляторів з'єднують в один ланцюг. Батареї – це електрохімічні пристрої, які перетворюють активні матеріали вищого рівня на альтернативний стан під час розряду. Швидкість такого перетворення визначає навантажувальні характеристики акумулятора. Нікелеві та літієві батареї перевершують свинцеві батареї за швидкістю реакції.

Для побутових приладів та інструментів використовуються кілька типів акумуляторних батарей.

1. Нікель-кадмієві (NiCd) є одними з довговічних акумуляторів з точки зору терміну служби, здатних витримувати велику кількість розрядів і зарядів. Вони стійкі до низьких температур, мають великий допустимий струм розряду, а також низьку ціну та великий термін служби.

Недоліки: швидко саморозряджаються, мають низьку щільність енергії, та виявляють "ефект пам'яті", що призводить до зниження корисної ємності при неповному розряді батареї.

2. Літій-іонні (Li-ion) батареї є легкими та високоефективними. Вони мають велику щільність енергії та довгий термін служби. Ці батареї широко використовуються у сучасних портативних електронних пристроях.

Недоліки: вони можуть бути дорогими, та втрачають ємність при тривалому використанні.

3. Нікель-метал-гідридні (NiMH) батареї володіють великою ємністю та меншим "ефектом пам'яті" порівняно з NiCd батареями. Вони також вважаються більш екологічно чистими.

Недоліки: вони можуть саморозряджуватися при зберіганні, є трошки важчими та дорожчими у виробництві.

Для різноманітних застосувань вибір типу акумуляторів залежить від конкретних вимог і умов експлуатації. [12]

2.9. Обґрунтування типу WI-fi модуля

Wi-Fi модуль є електронним пристроєм, який дозволяє пристрою підключатися до бездротової мережі Інтернету за допомогою стандарту Wi-Fi. Цей модуль включає в себе технічні компоненти для прийому та передачі бездротових сигналів, дозволяючи пристрою обмінюватися даними з іншими пристроями чи доступати до Інтернету без потреби фізичного підключення за допомогою кабелю.

Ще однією перевагою Wi-Fi модулів є можливість підключення до хмарних сервісів для зберігання та обробки даних. Це сприяє автоматизації та централізації обробки вимірювань, забезпечуючи зручний доступ до даних з будь-якого пристрою з підключенням до мережі.

Незважаючи на переваги, важливо враховувати аспекти безпеки в мережі Wi-Fi, особливо при передачі чутливих вимірювальних даних. Використання захищених протоколів та заходів безпеки допоможе уникнути можливих загроз.

Отже, Wi-Fi модулі у комп'ютеризованих системах вимірювань можуть істотно полегшити збір та обробку даних.[13]

2.10. Математична модель вимірювального каналу

Математична модель надає формалізований опис вимірювального каналу, включаючи функції перетворення та передаточні функції. Матиматична модель розглядає, як сигнал або зміна фізичного параметра перетворюється в вимірювальний сигнал, який потім обробляється вашою системою.

Функція перетворення: Розглядається, як зміна фізичного параметра (наприклад, індуктивності чи ємності) впливає на вимірювальний сигнал. Визначається математичний зв'язок між вхідним сигналом і вимірювальним сигналом на виході KIVC.

Вимірювач індуктивності та ємності є вимірювачем частоти, що має у складі генератор коливань, який генерує коливання і вимірює величини L або

C , після чого обчислюється кінцевий результат. Лічильник частоти працює на основі математичних рівнянь. Для обох невідомих L та C , рівняння обрахунку є загальними.

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.1)$$

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_{cat})}} \quad (2.2)$$

$$F_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + C_x)}} \quad (2.3)$$

$$F_4 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(l + l_x)}} \quad (2.4)$$

$$C_x = \frac{\left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2 - 1}{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1} \times C_{cat} \quad (2.5)$$

$$C_x = \left\{ \left(\frac{F_1}{F_4}\right)^2 - 1 \right\} \times \left\{ \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1 \right\} \times \frac{1}{C_{cat}} \times \left(\frac{1}{2\pi F_1}\right)^2 \quad (2.6)$$

C_{cat} та C_x - ємності, які додаються паралельно до коливального;

F_1 - частота природного резонансу коливального контуру;

F_2 - частота після додавання ємності C_{cat} паралельно до контуру;

F_3 - частота після додавання ємності C_x паралельно до контуру;

F_4 - частота після додавання індуктивності L_x послідовно до контуру;

L_x та C_x - додаткова індуктивність та ємність, яку додають послідовно до контуру;

L та C - індуктивність та ємність контуру.

Для обох невідомих величин L і C застосовується рівність 2.1 і 2.2. Середні значення F_1 ми отримуємо за допомогою LC коливального контуру, потім приєднуємо C_{cat} паралельно коливальному контуру і отримуємо величину F_2 .

Одразу після цього

1. Для ємності потрібно знайти величину $F3$ (рівняння 2.3), залишаючи C_x паралельно коливальному контуру, потім обчислюється C_x з рівняння 3.5

2. Для індуктивності потрібно знайти величину $F4$ (рівняння 3.4), залишаючи L_x послідовно коливального контуру, потім обчислюється L_x з рівняння 3.6

З допомогою цієї залежності можна робити висновки про значення індуктивності та ємності, використовуючи виміряну резонансну частоту. Наприклад, якщо виміряти резонансну частоту і вам відома ємність (або індуктивність), ви можете використовувати цю формулу для визначення невідомого параметра (індуктивності або ємності).

2.11. Методи програмно-алгоритмічної обробки сигналів вимірювальної інформації

У сфері наукових досліджень, технологічного прогресу та промислових процесів точність і надійність вимірювань відіграють ключову роль. Однак неминучість помилок, особливо грубих, становить значну проблему для досягнення точних результатів. Грубі помилки, які часто називають промахами, можуть мати глибокі наслідки для результатів експериментів, аналізу даних і загальної цілісності наукових і промислових досліджень.

Грубі помилки - це екстремальні відхилення від очікуваних або істинних значень у вимірюванні. Ці помилки можуть виникати з багатьох джерел, включаючи людський фактор, несправності обладнання, вплив навколишнього середовища та процедурні недоліки. Розрізнення грубих помилок від систематичних і випадкових помилок має вирішальне значення для розуміння їхніх унікальних характеристик та ефективного усунення.

Одним з основних джерел грубих помилок є участь людини у процесі вимірювання. Упередження, такі як підтвердження та очікування, можуть впливати на дослідників і технічний персонал, спонукаючи їх несвідомо маніпулювати результатами або тлумачити дані так, як це відповідає їх

очікуванням.. Розуміння цих психологічних факторів є важливим для розробки стратегій мінімізації їхнього впливу.

Грубі помилки можуть проявлятися через несправність або невідповідність вимірювальних приладів. Калібрування обладнання, критично важливий аспект підтримання точності, може бути порушене, якщо його не проводити регулярно або якщо не дотримуватися стандартів калібрування. Вивчення поширених проблем, пов'язаних з несправністю обладнання, дає уявлення про профілактичні заходи та найкращі практики.

Зовнішні фактори, такі як коливання температури, зміни атмосферного тиску та електромагнітні перешкоди, можуть вносити грубі помилки у вимірювання. Дослідження способів взаємодії навколишнього середовища з процесами вимірювання проливає світло на потенційні вразливості і підкреслює важливість контрольованих умов.

Ефективне виявлення грубих помилок є обов'язковим для збереження цілісності наукових результатів і промислових процесів. Надійні статистичні методи, методи візуалізації даних і алгоритми виявлення відхилень є інструментами для розпізнавання аномалій. Крім того, ефективними стратегіями пом'якшення наслідків можуть бути надлишкові вимірювання та суворі заходи контролю якості.

Технологічний прогрес, який включає в себе складні вимірювальні прилади та автоматизацію, значно сприяє зниженню серйозних помилок. Застосування інтелектуальних датчиків, систем моніторингу в режимі реального часу та автоматизованих процесів перевірки даних вносить суттєві зміни в методи зменшення похибок.

Незважаючи на значні успіхи в розумінні і зменшенні грубих помилок, проблеми залишаються. Вплив нових технологій, етичні міркування при виправленні помилок і розвиток культури безперервного вдосконалення є важливими аспектами, які потребують уваги. Вивчення майбутніх напрямків досліджень у сфері зменшення кількості помилок надає дорожню карту для сталого прогресу.

Комп'ютерезованні системи, які застосовуються у вимірюванні індуктивності та ємності, нерідко стикаються з проблемою впливу різноманітних факторів на точність отриманих даних. Похибки вимірювань можуть бути спричинені різними чинниками, такими як електромагнітні перешкоди, температурні впливи, або грубі помилки в самому вимірюванні.

Використання стає важливою складовою вимірювальних систем для забезпечення високої точності та надійності результатів вимірювань. Ці методи дозволяють виявляти та коригувати випадкові або систематичні грубі помилки, що можуть виникнути в процесі збирання вимірювальних даних.

Перевірити результати вимірювань на наявність грубих помилок можна за будь-якими трьома критеріями з списку: критерій Ірвина, критерій Романовського, критерій Діксона, критерій 3 сігма, критерій Смирнова, критерій Шовене. В подальшому розглядається кожен критерій, та обираються три основні:

Критерій Трьох Сигм.

Переваги:

1. Простота використання: Критерій легкий у використанні, і його легко розуміють непрофесійні користувачі.

2. Загальність: Використовується для різних видів даних і розподілів.

Недоліки:

1. Припущення про нормальний розподіл: Критерій базується на припущенні, що дані мають нормальний розподіл. У випадку відхилення від цього припущення, ефективність критерію може зменшитися.

2. Ігнорування структури даних: Критерій не враховує можливу структуру даних чи інші властивості, які можуть бути важливими для конкретного аналізу.

3. Нецілісність: Він може не виявляти систематичні помилки, якщо вони відбуваються регулярно, але за межами трьох стандартних відхилень.

Формула обчислення:

$$\mu - 3\sigma \leq \text{дані} \leq \mu + 3\sigma \quad (2.7)$$

Критерій Трьох Сигм базується на стандартному відхиленні (σ) та середньому значенні (μ). За цим правилом більшість даних вважається нормальними, якщо вони знаходяться в межах трьох стандартних відхилень від середнього:

Якщо значення виходять за межі цього діапазону, вони можуть вважатися потенційно грубими помилками чи нестандартними.[14]

Критерій Смирнова:

Критерій Смірнова використовується для порівняння емпіричної функції розподілу з теоретичною функцією розподілу. Основна формула виглядає так:

$$D_n = \sup |F_n(x) - F(x)| \quad (2.8)$$

Де $\sup$ представляє супремум (найменший верхній межа) по всіх можливих значеннях x .

D_n - Статистика критерію Смирнова.

$F_n(x)$ - Емпірична функція розподілу.

$F(x)$ - Теоретична функція розподілу.

Статистика D_n визначає відмінність між емпіричною та теоретичною функціями розподілу.

Емпірична функція розподілу (ЕФР): $F_n(x)$ є невеликою розмірною оцінкою для теоретичної функції розподілу і використовується для представлення емпіричних даних. Для обчислення ЕФР з вибірки розміром n , потрібно виконати наступні кроки:

1. Сортування даних: Впорядкувати дані в порядку зростання.
2. Призначення ймовірностей: Кожному спостереженню x_i присвоюється ймовірність $\frac{1}{n}$ для рівномірного розподілу.
3. Обчислення ЕФР: Сума ймовірностей додається для кожного значення x , яке не перевищує дане значення. Математично це виражається як:

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{x_i \leq x} 1 \quad (2.9)$$

де 1 - індикаторна функція, яка дорівнює 1 , якщо умова $x_i \leq x$ виконується, і 0 в іншому випадку.

Теоретична функція розподілу (ТФР):

Теоретична функція розподілу $F(x)$ визначає ймовірність того, що випадкова величина не перевищить значення x . Якщо відомий аналітичний вигляд розподілу, ТФР обчислюється безпосередньо з його функції щільності або функції розподілу.

Наприклад, для розподілу з відомою функцією щільності ймовірності $f(x)$, ТФР $F(x)$ обчислюється за формулою:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt \quad (2.10)$$

де $f(x)$ - функція щільності ймовірності.

Переваги:

1. Незалежність від масштабу: Критерій не залежить від масштабу даних, тобто він залишається сталим навіть при зміні масштабу.
2. Ефективність в області хвостів розподілу: Критерій особливо ефективний для виявлення відмінностей в хвостах розподілу.

Недоліки:

1. Чутливість до виду розподілу: Критерій може бути чутливим до конкретного виду розподілу та вимагати великої кількості даних для точності.
2. Не враховує структуру даних: Критерій не враховує структуру даних та може не ефективно виявляти певні аспекти відмінностей.
3. Обмеженість на розмір вибірок: Деякі обмеження на розмір вибірок можуть вплинути на ефективність критерію.

Критерій Смирнова застосовується в задачах порівняння розподілів та може допомогти виявити відмінності між емпіричним та теоретичним розподілами.[15]

Критерій Шовене — статистичний критерій, який використовується для виявлення наявності грубих похибок в даних при порівнянні середніх значень

трьох і більше груп. Критерій оцінює розподіл даних і визначає, чи існують статистично значущі відмінності між цими групами.

1. Формула розрахунку статистики Шовене: Статистика Шовене (W) розраховується за наступною формулою:

$$W = \frac{N - 1}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 / N} \quad (2.11)$$

де:

W - критерій Шовене,

N - кількість груп,

X_i - середнє значення в кожній групі,

$\bar{X}$ - загальне середнє значення.

2. Переваги:

- Чутливість до грубих похибок: Критерій Шовене добре реагує на наявність грубих похибок в даних.
- Незалежність від розміру вибірки: Критерій не вимагає однакового розміру вибірок для ефективного застосування.

3. Недоліки:

- Чутливість до викидів: Якщо в даних є викиди або аномальні значення, це може вплинути на результати критерію Шовене.
- Потреба в рівних дисперсіях: Критерій Шовене передбачає рівні дисперсії в групах, тобто однакову дисперсію у всіх порівнюваних групах.

4. Процес оцінки:

- Порівняйте розраховане значення статистики Шовене (W) з критичним значенням для вибраного рівня значущості.
- Якщо W перевищує критичне значення, відхиляйте нульову гіпотезу та вважайте, що є статистично значущі відмінності між групами.

Переваги застосування таких критеріїв, як Ірвіна, Романовського та Діксона:

1. Виявлення грубих помилок: Ці критерії надійно виявляють грубі помилки, що робить їх ефективними для автоматичного визначення нетипових або аномальних значень у вимірювальних даних.

2. Узагальненість: Ірвіна, Романовського та Діксона можуть застосовуватися до різних видів даних, що робить їх універсальними та придатними для різноманітних дисциплін та вимірювань.

3. Простота в реалізації: Ці методи можуть бути легко впроваджені в програмно-апаратну частину вимірювальної системи, дозволяючи швидко та ефективно фільтрувати вимірювальні дані.

4. Можливість автоматизації: Критерії Ірвіна, Романовського та Діксона можуть бути інтегровані в автоматизовані системи обробки даних, що полегшує рутинні завдання фільтрації та забезпечує швидкий аналіз результатів.

Застосування чисельних методів фільтрації стає необхідним етапом в обробці вимірювальних даних, спрямованим на підвищення надійності та точності вимірювань індуктивності та ємності в умовах реального впливу різноманітних факторів.

Процес обробки вимірювальної інформації для визначення індуктивності та ємності може бути розділений на кілька послідовних кроків:

1. Визначення всіх частот:

- Проведення вимірювань природних частот резонансу для різних конфігурацій індуктивності та ємності.
- Отримання значень частот (F_1, F_2, F_3, F_4), які використовуються в математичних рівняннях.

2. Розрахунок індуктивності (L) та ємності (C):

- Використання виміряних частот для розрахунку індуктивності і ємності з використанням математичних рівнянь, які пов'язують частоту з індуктивністю і ємністю (рівняння 2.1, 2.2, 2.3, 2.4).

3. Виключення грубих помилок:

- Використання критеріїв, таких як критерій Ірвіна, Романовського та Діксона, для виявлення і виключення грубих помилок у вимірюваннях.

– Аналіз вимірювальних даних і виключення аномальних результатів, які можуть впливати на точність обчислень.

Ці кроки спрямовані на отримання точних значень індуктивності та ємності, уникнення систематичних та випадкових помилок, а також виключення артефактів, які можуть виникнути під час вимірювань.

Критерій Ірвіна – для отримання експериментальних даних визначають коефіцієнт по формулі:

$$\lambda = \frac{(x_{n+1} - x_n)}{S} \quad (2.12)$$

Де x_{n+1} , x_n – найбільші значення випадкової величини; S – середнє квадратичне відхилення, обчислене по всіх значеннях вибірки. Потім цей коефіцієнт порівнюється з табличним значенням λ_q , можливі значення якого наведені в додатку А (Табл. 1). Якщо $\lambda > \lambda_q$ то нульова гіпотеза не підтверджується, тобто результат – помилковий, і він має бути виключений при подальшій обробці результатів спостережень.

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі (2.12). Для $n=20$ граничне значення критерію Ірвіна не повинно перевищувати $\lambda_{кр} = 1.3$. Значення в залежності від t представлені в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 Обрахунок наявності похибки у вибірці

у	λ	Похибка
5,05	0,1825	Відсутня
4,94	0,0725	Відсутня
4,95	0,0825	Відсутня
5,06	0,1925	Відсутня
5,07	0,2025	Відсутня
5,06	0,1925	Відсутня
5,06	0,1925	Відсутня
4,95	0,0825	Відсутня
4,96	0,0925	Відсутня
4,96	0,0925	Відсутня
2,30	2,5675	Присутня
5,02	0,1525	Відсутня
4,96	0,0925	Відсутня

4,91	0,0425	Відсутня
5,01	0,1425	Відсутня
5,06	0,1925	Відсутня
5,00	0,1325	Відсутня
5,03	0,1625	Відсутня
4,95	0,0825	Відсутня
5,05	0,1825	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, значення 2,30 вважається помилковим, тому його слід виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

Критерій Романовського – конкуруюча гіпотеза про наявність грубих похибок в підозрілих результатах підтверджується, якщо виконується нерівність:

$$|x_n - \bar{x}| \geq t_p S \quad (2.13)$$

Де t_p – квантиль розподілу Стюдента при заданій довірчій ймовірності з числом мір свободи $k = n - k_n$. Значення квантилів для розподілу Стюдента представлені в додатку. Точкові оцінки розподілу x і СКВ результатів спостережень обчислюється без урахування k_n - підозрілих результатів спостережень.

Для перевірки вибірки на наявність грубої похибки за Романовським потрібно обрати «підозрілі» значення. Підозрілими значеннями можна вважати 2,30

Визначимо середньоарифметичне значення з виключенням підозрілих значень:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = \frac{95,05}{19} = 5,00$$

Таблиця 2.2 Обрахунок значень вибірки

X	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
4,91	0,092632	0,008581
4,94	0,062632	0,003923
4,95	0,052632	0,00277
4,95	0,052632	0,00277

4,95	0,052632	0,00277
4,96	0,042632	0,001817
4,96	0,042632	0,001817
4,96	0,042632	0,001817
5	0,002632	6,93E-06
5,01	0,007368	5,43E-05
5,02	0,017368	0,000302
5,03	0,027368	0,000749
5,05	0,047368	0,002244
5,05	0,047368	0,002244
5,06	0,057368	0,003291
5,06	0,057368	0,003291
5,06	0,057368	0,003291
5,06	0,057368	0,003291
5,07	0,067368	0,004539

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \approx 0.093$$

Тепер, коли у нас є значення стандартного відхилення $S \approx 0.093$, ми можемо використовувати це для подальших обчислень згідно з критерієм Романовського.

Розглянемо приклад для значення довірчої ймовірності $p=0.95$, що відповідає квантилю розподілу Стюдента t_p з 18 ступенями свободи.

Ми знаємо, що $k=n-k_n=19-0=19$, тобто k - це кількість спостережень.

З таблиці квантилей розподілу Стюдента, при $k=19$ і $p=0.95$, знаходимо $t_p \approx 2.093$.

Тепер підставляємо ці значення в рівняння і визначити, чи виконується умова: $|x_n - \bar{x}| \geq 0.194$.

Згідно з критерієм Романовського, умова для всіх значень набору даних виконується. Це означає, що відхилення кожного конкретного спостереження від середнього значення є менше за порогове значення, визначене критерієм. Умова вказує на те, що немає статистично значущих грубих похибок в цьому наборі даних за вищезазначеним критерієм.

Критерій Діксона використовується для виявлення викидів (екстремальних значень) в наборі даних. Цей критерій порівнює відносні

розбіжності між першим і останнім спостереженнями, спираючись на те, що у нормально розподіленому наборі даних ці розбіжності повинні бути приблизно однаковими.

При використанні критерію обчислюють коефіцієнт Діксону (спостережуване значення критерію) для перевірки найбільшого або найменшого екстремального значення залежно від числа вимірювань.

Нульова гіпотеза про відсутність грубої похибки виконується, якщо виконується нерівність $r < r_q$. Якщо $r > r_q$, то результат визнається грубою похибкою і виключається з подальшої обробки.

Важливі аспекти критерію Діксона:

1) чутливість до розміру вибірки, чим більше вибірка, тим більше шансів виявити викиди.

2) обмежена до одного викиду, критерій Діксона зазвичай використовується для виявлення одного викиду в разі.

Для перевірки за критерієм Діксона обчислюють коефіцієнт найбільшого або найменшого значення залежно від числа вимірювань:

$$r_{22 \min} = \frac{x_3 - x_1}{x_{n-2} - x_1} \quad r_{22 \max} = \frac{x_n - x_{n-2}}{x_n - x_3} \quad (2.14)$$

1) Значення коефіцієнтів при першій перевірці вибірки:

$$r_{22 \min} = \frac{4,94 - 2,3}{5,06 - 2,3} = 0,95 \quad r_{22 \max} = \frac{5,07 - 5,06}{5,07 - 4,94} = 0,07$$

Так, як $0,95 > 0,450$ значення 2,3 виключено з подальшого обрахунку

3) Значення коефіцієнтів при другій перевірці вибірки:

$$r_{22 \min} = \frac{4,95 - 4,91}{5,06 - 4,91} = 0,26 \quad r_{22 \max} = \frac{5,07 - 5,06}{5,07 - 4,95} = 0,08$$

Після аналізу трьох критеріїв, можна зробити висновок, що значення 2,3 є грубою помилкою. [16]

Висновки до другого розділу

Основний висновок з розділу "Розробка методів вимірювання та структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи" полягає в тому, що були розглянутий метод резонансу для вимірювання індуктивності та ємності в комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системі. Розглянуті фізичні принципи вимірювання.

Описана структурна схема, яка включає в себе необхідне обладнання для вимірювань, засоби введення-виведення, та інші ключові компоненти. Обґрунтовані елементи структурної схеми та описано, як вони взаємодіють в системі.

Математична модель вимірювального каналу вказує на її значущість у визначенні індуктивності та ємності. Застосовані функції перетворення та передаточні функції ретельно описують, як зміни фізичних параметрів впливають на вимірювальний сигнал. Розглянуті математичні рівняння, що описують частоти резонансу та обчислення індуктивності та ємності, забезпечують точні та ефективні методи вимірювань.

У роботі досліджено важливість використання програмно-алгоритмічних методів обробки сигналів для вимірювальних систем, що визначають індуктивність та ємність. Виявлено, що такі системи часто стикаються з проблемами, такими як електромагнітні перешкоди та температурні впливи, що можуть впливати на точність вимірювань. Для забезпечення високої точності та надійності вимірювань використано численні методи, зокрема критерії Ірвіна, Романовського та Діксона. Були виявлені і виключені грубі похибки за даними критеріями.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер PIC16F1938 – це 8-розрядний високоефективний та універсальний інтегральний мікросхемний пристрій, розроблений компанією Microchip Technology. Він має 28 виводів та вбудовані функції, які забезпечують широкі можливості для програмування та керування електронними пристроями. PIC16F628A володіє високою продуктивністю та оптимізованим споживанням енергії, що робить його ідеальним для батарейних пристроїв. Цей пристрій має апаратну стекову пам'ять шириною 15 біт і глибиною 16 слів. Переповнення або неповне заповнення стеку встановлює відповідний біт в регістрі PCON і, якщо він увімкнений, викликає програмне скидання. Є два 16-бітних регістри вибору файлів (FSR). FSR мають доступ до всіх файлових регістрів і пам'яті програм, що дозволяє використовувати один покажчик даних для всієї пам'яті. Коли FSR вказує на пам'ять програм, в інструкціях з використанням INDF з'являється один додатковий цикл, який дозволяє отримати дані.

Покращене ядро середнього класу з 49 командами, 16 рівнями стеку. флеш-пам'ять програм з можливістю самозчитування/запису. Підтримка 60 LCD сегментних накопичувачів. Внутрішній генератор 32 МГц. Інтегрований ємнісний сенсорний модуль mTouch та інтегрований індикатор температури. Інтерфейси I²C, SPI, EUSART з автоматичною передачею даних.

Вбудований 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з опорною напругою дозволяє міряти аналогові сигнали, що розширює можливості збору даних. З іншого боку, наявність портів вводу-виводу, таймерів і лічильників робить PIC16F1938 універсальним для різноманітних застосувань, включаючи системи вимірювання ємності та індуктивності. Такий мікроконтролер відкриває широкі можливості для розробки електроніки та автоматизованих систем з високою точністю і низьким споживанням енергії.

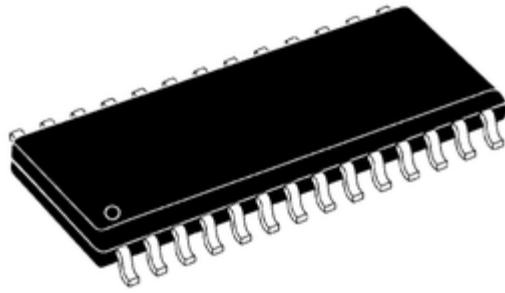


Рис. 3.1. – Мікроконтролер PIC16F1938

Характеристики:

- Сімейство: PIC16
- Вид архітектури: Harvard 8біт
- Напруга живлення: 1.8...5.5В
- Пам'ять програми: 28кБ
- Об'єм пам'яті EEPROM: 0.256кБ
- Об'єм пам'яті SRAM: 1.024кБ
- Інтерфейс: A/E/USART, MSSP (SPI / I2C)
- Особливості, периферія: XLP
- Кількість входів/виходів: 25
- Кількість ємнісних каналів: 8[17]

3.2. Вибір стабілізатора напруги

AMS1117 - це лінійний стабілізатор напруги, який використовується для стабілізації вхідної напруги та отримання стабільного вихідного напругового рівня. Основні характеристики AMS1117 включають:

1. Вихідна напруга: 5 вольт, яка найкраще відповідає потребам в системі вимірювання ємності та індуктивності.
2. Вхідна напруга: от 7 В до 25 В
3. Максимальний вхідний струм: 1,5 А
4. Стабільність: Забезпечує стабільність вихідної напруги навіть при змінах вхідної напруги або навантаженні.

5. Захист від перевантаження та перегріву: AMS1117 має вбудовані механізми захисту, які захищають його від пошкоджень в разі перевищення допустимих параметрів.

6. Компактний розмір: має малий корпус, що дозволяє легко інтегрувати його в обмеженому просторі.

Цей стабілізатор може використовуватися в різноманітних електронних пристроях, де необхідно забезпечити стабільне живлення для електроніки чи мікроконтролерів, таких як ESP-01, які ви розглядали раніше.

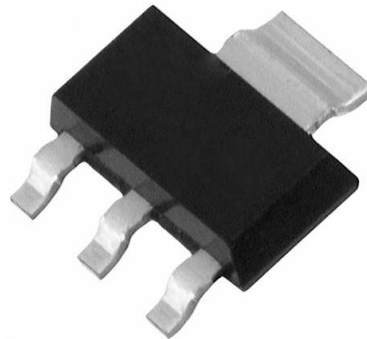


Рис. 3.2. – Стабілізатор AMS1117

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. [18]

3.3 Вибір дисплея

Для виводу інформації було обрано Символьний дисплей LCD1602B – це компактний дисплей, дані з різних датчиків виводиться на синьому фон, текст відображається чорним кольором. Даний LCD з розмірами 16x2 це рішення є цілком прийнятне у своєму сегменті, так як пропонує оптимальне співвідношення функціонала та вартості. На екран поміщаються 30 символів.

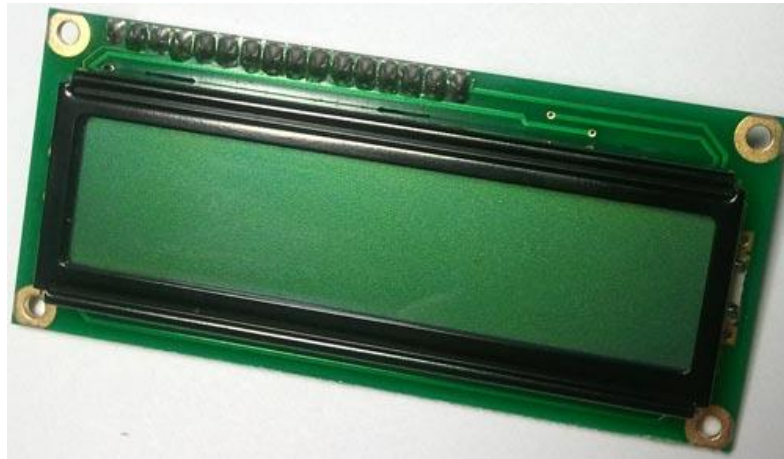


Рис. 3.3. – Символьний дисплей LCD1602

Характеристики:

- Символьний дисплей LCD1602 (Синє підсвічування)
- Матриця: рідкокристалічна LCD
- Підсвічування: світлодіодне LED
- Індикація: 2 рядки по 16 символів
- Колір символів: білий
- Колір підсвічування: синій
- Напруга живлення: 5 В
- Апаратний інтерфейс: отвори під пайку
- Програмний інтерфейс: паралельний 4/8 біт
- Розміри: 80×36 мм [19]

3.4. Вибір WiFi модуля

WiFi-модуль ESP-01 є зручним і економічним бездротовим пристроєм для передачі даних через мережу WiFi. Завдяки своїм компактним розмірам, вбудованому мікроконтролеру ESP8266 та легкій інтеграції з мікроконтролерами, такими як PIC16F1938, він стає відмінним вибором для систем вимірювання ємності та індуктивності. Модуль підтримує основні протоколи, має низьку вартість та споживає мало енергії, що робить його

ефективним для проектів з обмеженим бюджетом та вимогами щодо споживаної потужності.

Передбачено два варіанти використання чіпа:

1. Міст UART-WIFI, коли модуль на базі ESP8266 підключається до існуючого рішення на базі будь-якого іншого мікроконтролера та керується AT-командами, забезпечуючи зв'язок рішення з інфраструктурою Wi-Fi.

2. Реалізуючи нове рішення, що використовує сам чіп ESP8266 як керуючий мікроконтролер.

Для того, щоб з перехідником працювали всі модулі ESP-01 слід з'єднати перемичкою або резистором 1K контакти 8 (Vcc) та 4 (EN).

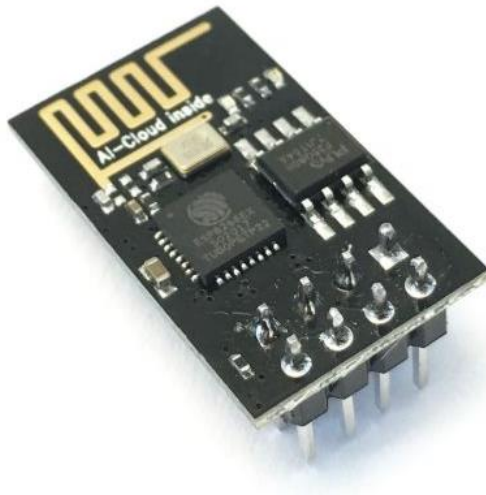


Рис. 3.4. – Wi-Fi модуль ESP8266 версія ESP-01

Характеристики:

- підтримка WiFi протоколів 802.11 b/g/n
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- вбудований стек TCP/IP
- вбудований TR перемикач, balun, LNA, підсилювач потужності та сотової мережі
- вбудований PLL, регулятори, та система управління живленням
- вихідна потужність +20.5 дБм у режимі 802.11b
- підтримка диверсифікації антен
- струм витоку у вимкненому стані до 10 мкА

- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU Aggregation & 0.4 μ s guard interval
- пробудження та посилення пакетів за час до 22 мс
- споживання у режимі Standby до 1.0 мВт (DTIM3)
- розміри: 24.5x14 мм

Контакти:

- Vcc – живлення, +3,3В (максимально 3,6В)
- GND - загальний
- TXD – передача даних (рівень 3,3В)
- RXD – прийом даних (рівень 3,3В)
- CH_PD - вимкнення модуля (низький рівень активний, для включення модуля слід подати Vcc)
- GPIO0 - виведення загального призначення 0
- GPIO2 - виведення загального призначення 2
- RST – скидання модуля (низький рівень активний) .[20]

3.5. Вибір кварцового резонатора

Кварцовий резонатор, частота 32 МГц у корпусі HC49/S з двома виходами (човник). Розмір: 11,35x5.0x3,5. Температурний діапазон: -20/+70С. Стабільність частоти +/- 50ppm. Призначений для використання в аналогових та цифрових ланцюгах для стабілізації та виділення електричних коливань.



Рис. 3.5. - Кварцовий резонатор

Основні характеристики:

- Робоча температура: -10...60°C
- Виробник: IQD FREQUENCY PRODUCTS
- Корпус: HC49S
- Ємність: 16пФ
- Потужність: 0,5мВт
- Тип резонатора: кварцовий
- Частота: 20МГц
- Похибка резонатора: $\pm 30\text{ppm}$
- Нестабільність частоти: $\pm 50\text{ppm}$ [21]

3.6. Вибір кнопки

Тактова кнопка ТАСТ – простий, всім відомий механізм, що замикає ланцюг, поки є тиск на штовхач. Кнопка з 4 контактами слід розглядати як 2 пари рейок, які з'єднуються при натисканні.



Рис. 3.6. – Кнопка тактова ТАСТ 6х6х6

Технічні характеристики:

- Максимальна напруга - 12 В
- Максимальний струм- 2000 мА
- Розміри - 6х6 мм, висота 6 мм
- Діапазон робочої температури: -25°C ... +70°C

3.7. Вибір катушки індуктивності

Серія B82477G4104M000 вирізняється високою надійністю та електромагнітними характеристиками. Індуктивності цієї 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 °C) відповідає найсуворішим вимогам автомобільного стандарту якості AEC-Q200. Конструкція на підкладці гарантує механічну стабільність.

Габарити даної серії складають 12,5*12,5 мм при максимальній висоті 8,5 мм. Завдяки наявності магнітного екрану індуктивність може бути розташована в безпосередній близькості від інших компонентів на друкованій платі. З низьким опором та високим струмом насичення, серія B82477G4104M000 успішно конкурує в своєму класі.



Рис. 3.7. – Катушка індуктивності B82477G4104M000

Технічні характеристики

- Номінальна індуктивність – 82 мкГн
- Допуск номінальної індуктивності –20 %
- Активний опір – 0.165 Ом
- Довжина корпусу –12.8 мм
- Діаметр (ширина) корпусу – 12.8 мм
- Максимальний постійний струм – 1700 мА
- Вага – 4.2 г.[22]

3.8. Вибір акумулятора

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

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

Таблиця 4.1. – Розрахунок потужності

Елемент	Напруга, U	Струм, I	Потужність, P
Мікроконтролер	5 В	0,25 А	1,25 Вт
Дисплей	5 В	0,1 А	0,5 Вт
Wi-Fi адаптер	3 В	0,24 А	0,72 Вт

Система живиться за допомогою лінійного стабілізатора з невеликою похибкою стабілізації, призначеного для роботи з вхідною напругою від 7 В до 25 В. За результатами, викладеними у таблиці 4.1, та враховуючи використання стабілізатора, можна зазначити, що акумуляторна батарея на 9 В та 650 мА повністю відповідає вимогам нашої системи.

Акумуляторна батарея "Крона" з напругою 9 В та типом Li-ion є компактним та зручним джерелом живлення. Такі акумулятори зазвичай використовуються в різноманітних електронних пристроях, таких як вимірювальні прилади, інструменти, світлодіодні ліхтарі.

Основні характеристики акумуляторної батареї "Крона" 9 В Li-ion включають:

Тип батареї: Li-ion - літій-іонна технологія, яка відома своєю високою ємністю та невеликою втратою заряду при неактивному використанні.

Напруга: 9 В - відповідає стандартам для багатьох електронних пристроїв.

Ємність: 650 мАг - показник ємності, який вказує на те, яку кількість енергії може зберігати батарея.

USB-порт для заряджання: Дозволяє зручно та ефективно заряджати батарею за допомогою USB-кабелю, що робить її сумісною з різними зарядними пристроями.

Переваги використання такої акумуляторної батареї включають економію коштів, оскільки її можна заряджати та використовувати багато разів, у порівнянні з традиційними одноразовими батареями.[23]



Рис. 3.8. – акумуляторна батарея 9 В

3.9. Побудова принципової електричної схеми

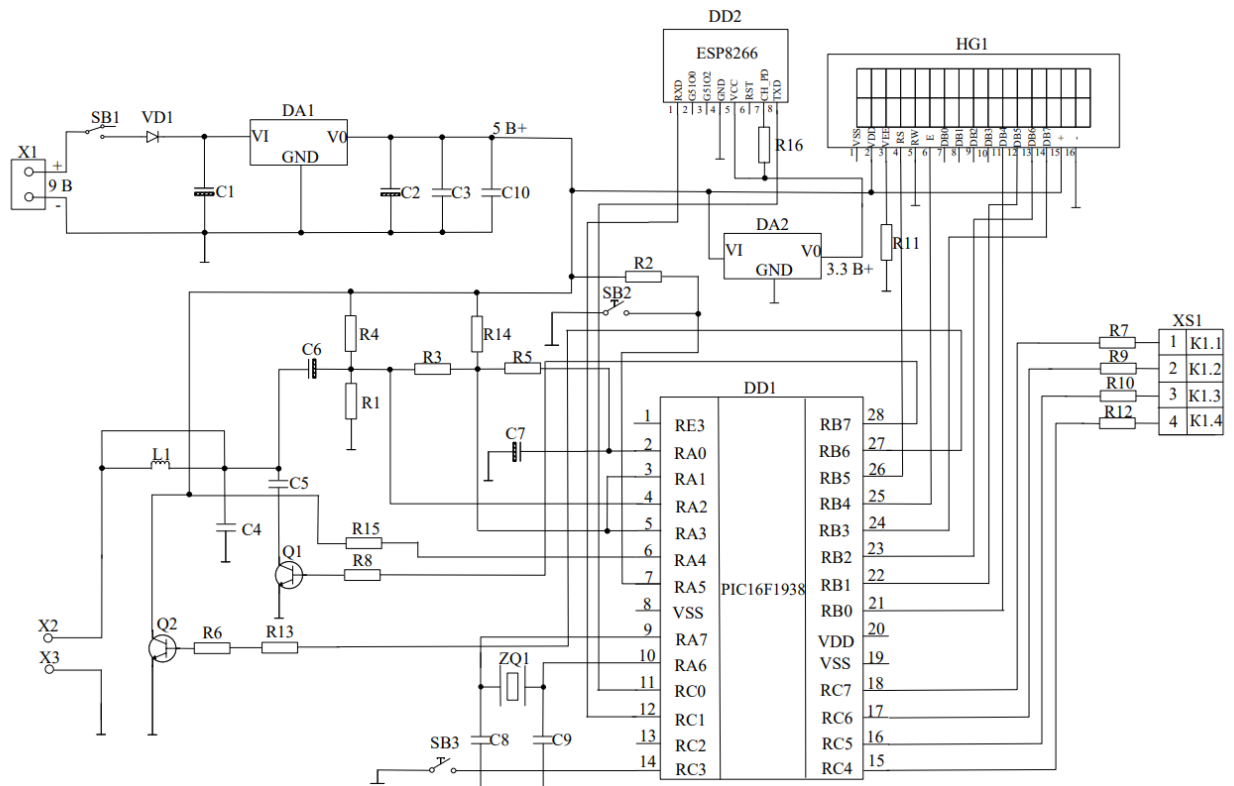


Рис. 3.9. – Принципово-електрична схема комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем.

Підключення Wi-Fi модуля до мікроконтролера PIC16F1938 може включати в себе ряд кроків. Ось загальний опис підключення:

1. Живлення (V_{cc} та GND): V_{cc} Wi-Fi модуля з джерелом живлення 3.3 В на PIC16F1938. GND Wi-Fi модуля зі спільним (GND) на PIC16F1938.

2. Передача/Прийом Даних (TXD/RXD):

- З'єднайте TXD Wi-Fi модуля з RX пінами PIC16F1938.

- З'єднайте RXD Wi-Fi модуля з TX пінами PIC16F1938.

TXD та RXD стосуються передачі цифрових сигналів. Ці позначення означають передачу (TXD - Transmit) та прийом (RXD - Receive) цифрових даних між пристроями. У контексті з'єднання Wi-Fi модуля та мікроконтролера PIC16F1938, це є цифровим з'єднанням для обміну цифровими даними. У цьому випадку, цифровий сигнал використовується для передачі та отримання інформації між Wi-Fi модулем та мікроконтролером.

З плюсовою лінією підключений резистор на 10 кОм. Якщо все працює правильно, то за допомогою мобільного телефону або комп'ютера переконуємося, що з'явилася нова wi-fi точка доступу. Точки можуть називатися по-різному.

Після отримання приблизних значень індуктивності або ємності програма автоматично приведе значення до технічних одиниць, які відобразить на рідкокристалічному дисплеї роздільною здатністю 16x2.

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 перенапрузі 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).

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 $\pm 10\%$). 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.

Висновки до третього розділу

У третьому розділі була розроблена принципова схема, що визначає основні компоненти вимірювальної системи. В цьому контексті були вибрані складові системи, представлені їх технічні характеристики та основні функції. Додатково, подано детальний опис кожного елемента, включаючи його зовнішній вигляд та розташування пінів.

Згідно обраних складових вимірювальна система контролю довкілля складається з таких елементів: мікроконтролер PIC16F1938, стабілізатора напруги AMS1117, ЖК-дисплей LCD1602, кварцовий резонатор з частотою 32 МГц у корпусі HC49/S, катушки індуктивності B82477G4104M000, Wi-Fi модуль ESP8266 версія ESP-01, понижувач напруги AMS1117 3.3V, кнопка тактова ТАСТ, роз'єм для підключення щупів, роз'єм для акумуляторна батареї на 9 В.

Система включає функцію калібрування, яка після проведення забезпечує максимальну точність вимірювань та стабільність в роботі. Використання танталових та полістиролових конденсаторів підсилює надійність пристрою. Розрахована потужність системи, враховуючи вимоги компонентів та дисплею, підтверджує оптимальний вибір живлення.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

4.1. Розробка алгоритму роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи

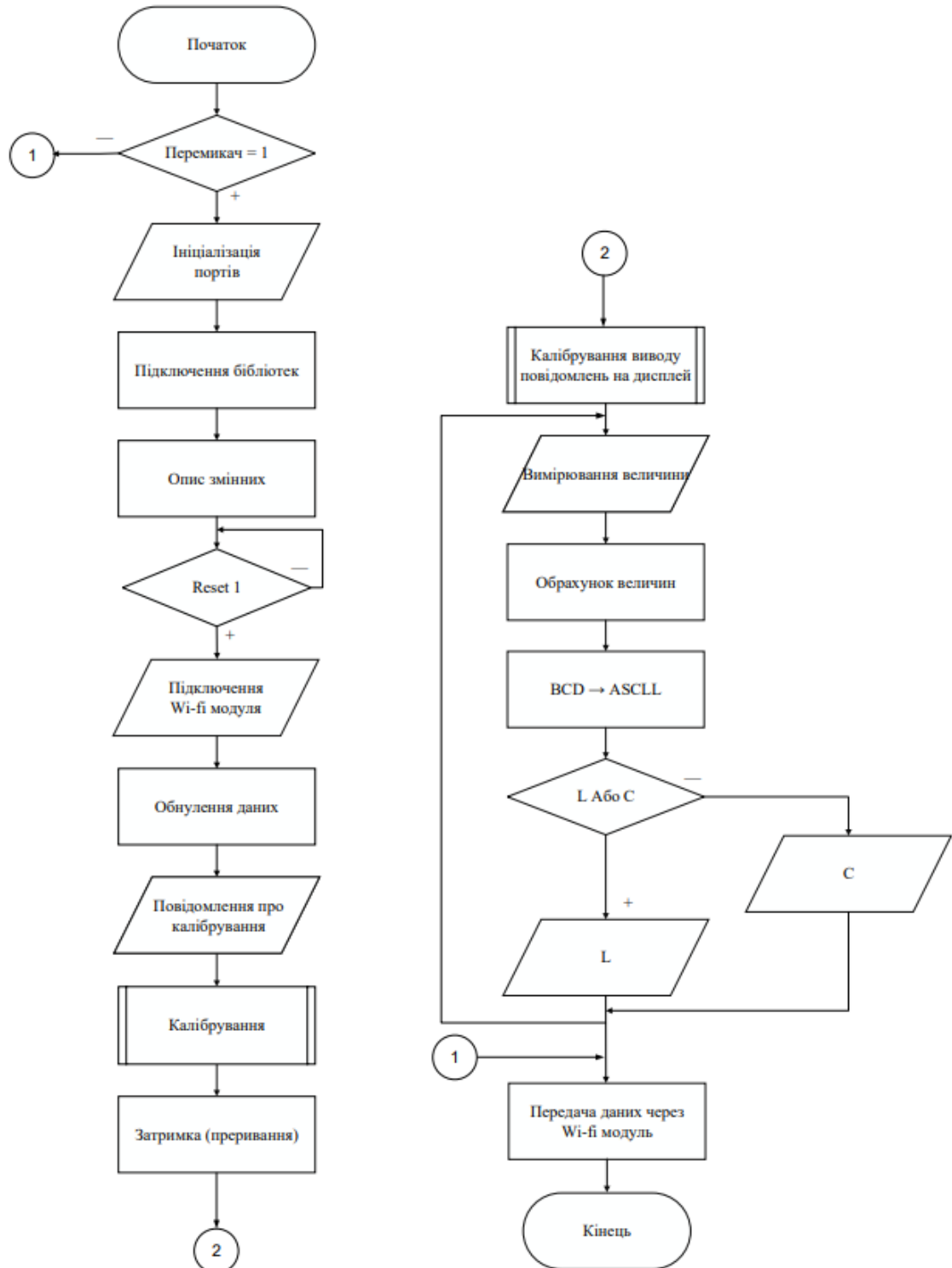


Рис. 4.1. Алгоритм роботи системи виміру індуктивності та ємності

Принцип роботи системи згідно алгоритму наступний:

1. Початок:

- При ввімкненні пристрою (перемикач встановлено в положення 1) відбувається ініціалізація портів, тобто приведення портів у стан готовності.

- Проводиться підключення бібліотек основної програми та присвоювання значень для змінних.

- Здійснюється підключення Wi-Fi модуля.

- Обнулення даних та вивід калібровки на екран.

- Виконується вимірювання калібровачної ємності.

2. Переривання:

- Сигнал переривання повідомляє мікроконтролер про настання події.

3. Основний цикл:

- Вивід значення калібровки та вимірювання величини.

- Обробка та обчислення отриманих даних.

- Конвертація коду в символи на дисплеї.

- Вибір індуктивності або ємності для подальших вимірювань.

4. Зациклювання:

- Програма зациклюється та повторюється з моменту опитування датчиків до вимикання системи.

5. При завершенні:

- Передача даних через Wi-Fi модуль.

- Завершення роботи системи.

Таким чином, весь цикл роботи системи включає ініціалізацію, калібрування, вимірювання, обробку та вивід результатів на дисплей, а також передачу даних через Wi-Fi модуль.

4.2. Програма роботи комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи та середовище програмування

ПІС-контролери залишаються популярними в тих випадках, коли потрібно створити недорогу компактну систему з низьким

енергоспоживанням, що не пред'являє високих вимог до її управління. Дані контролери дають змогу замінити апаратну логіку гнучкими програмними засобами, які взаємодіють із зовнішніми пристроями через порти. Вони непогані для побудови перетворювачів інтерфейсів послідовного передавання даних, для реалізації функцій "приймання - оброблення - передавання даних" і нескладних регуляторів систем автоматичного керування.

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 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.[24]

Мікроконтролер PIC16F1938 має 8-розрядний порт вводу/виводу GPIO. Один вивід GP3 порту GPIO працює тільки на вхід, інші виводи можна конфігурувати для роботи як на вхід так і на вихід. Кожен вивід GPIO має

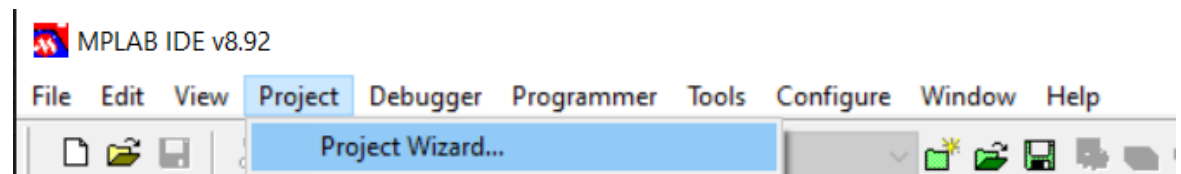
індивідуальний біт роздільної здатності переривань за зміною рівня сигналу на входах і біт увімкнення внутрішнього підтягувального резистора.

Безкоштовне інтегроване середовище MPLAB розробки ПЗ для мікроконтролерів PIC, що містить засоби для створення, редагування, налагодження, трансляції та компонування програм, запису машинного коду в мікроконтролери через програматори.

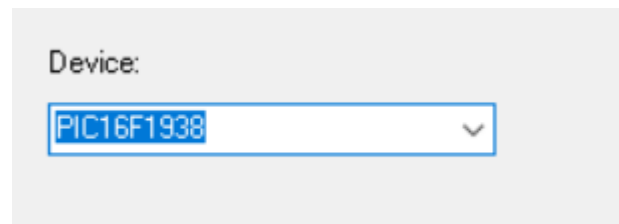
Створення проекту:

Приклад створення проекту програм PIC-контролера в середовищі MPLAB включає такі кроки:

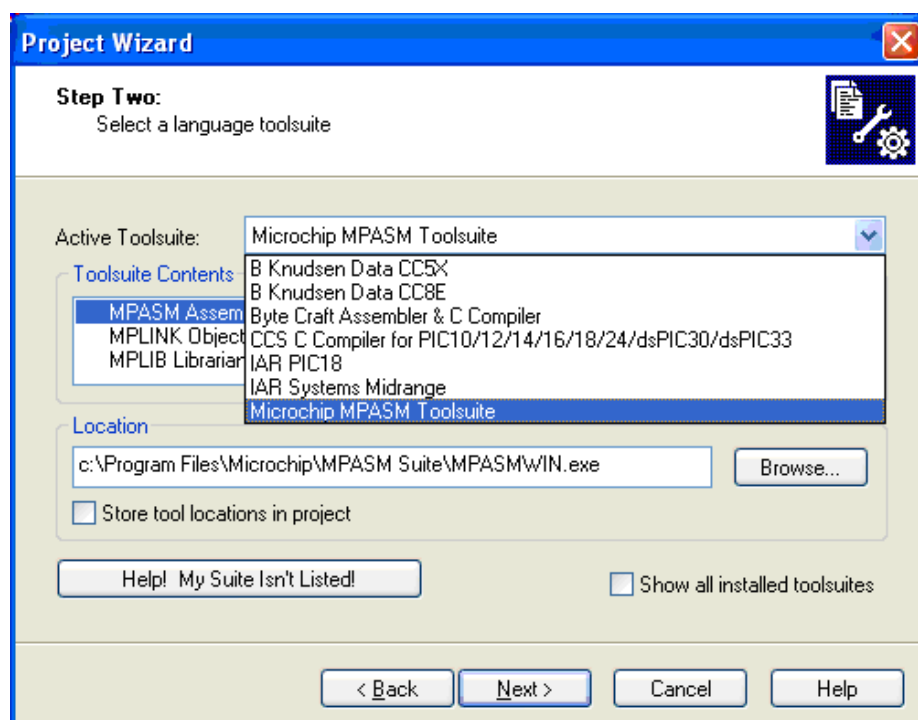
1. Виклик менеджера проекту.



2. Вибір типу PIC мікроконтролера.



3. Вибір компілятора, наприклад, Microchip MPASM для асемблера.



4. Вибір шляху до каталогу проекту (клавіша Browse...) і введення імені проекту.

5. Підключення файлів до проекту у вікні Project Wizard → Step Four можна не виконувати. Це можна зробити пізніше, всередині активного проекту. Клавіша Next відкриває наступне вікно.

6. Завершення створення проекту (клавіша Finish).

У результаті створення проекту FirstPrMPLAB інтерфейс MPLAB набуває вигляду, показаного на Рис. 4.2

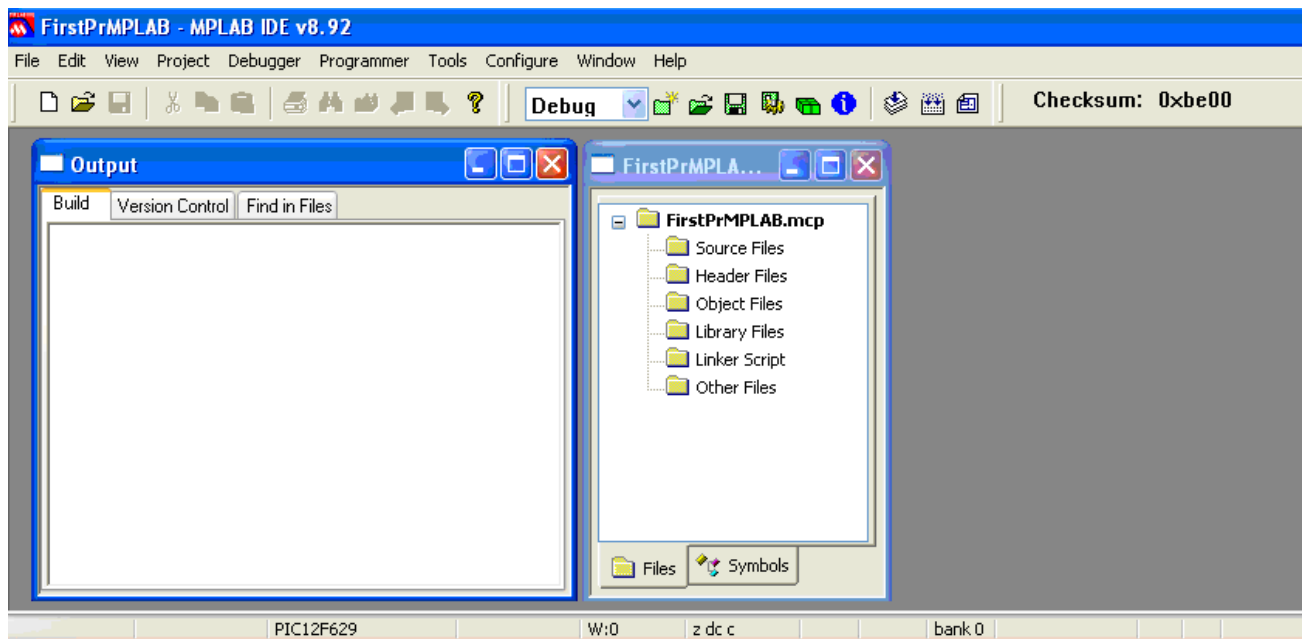


Рис. 4.2. Інтерфейс середовища MPLAB v8.92 і шаблон проекту.

Створення файлу програми. Програму можна створити за допомогою будь-якого текстового редактора. У MPLAB є вбудований редактор, який забезпечує низку переваг, наприклад, оперативний лексичний аналіз вихідного тексту, у результаті якого в тексті кольором виділяються зарезервовані слова, константи, коментарі, імена, визначені користувачем.

Створення програми в MPLAB можна виконати в такій послідовності:

1. відкрити редактор програм: меню → File → New. Спочатку програмі присвоєно ім'я Untitled.
2. Набрати або скопіювати програму, наприклад, на асемблері.
3. Зберегти програму під іншим ім'ям (меню → File → Save As), наприклад, FirstPrMPLAB.asm.

```

C:\Users\PC\Documents\FirstPrMPLAB

bank0 macro
    errorlevel +302 ; Повторно включити попередження
    bcf STATUS,RP0 ; Select Bank 0
endm

bank1 macro
    bsf STATUS,RP0 ; Виберіть Bank 1
    errorlevel -302 ; Вимкнути попередження
swap macro this,that
    movf this,w
    xorwf that,f ; Обмін за допомогою мікрочіпа
    xorwf that,w
    xorwf that,f
    movwf this
endm

;-----
; Скопіюйте байти в регістровий файли

MOVF from,W
MOVWF to
Endm

copy16 macro from,to
    MOVF from,W
    MOVWF to
    MOVF from+1,W
    MOVWF to+1
endm

copy24 macro from,to
    MOVF from,W
    MOVWF to

```

Рис. 4.3. Фрагмент програми (на асемблері). Текст розробленої програми представлений в Додатку В

Цей код написаний на асемблері для мікроконтролера PIC16F1938 і призначений для вимірювання частоти і визначення ємності та індуктивності. Основна програма включає в себе ініціалізацію пристроїв введення і виведення, а також вимірювання частоти з використанням таймера TMR0.

Основні блоки коду виконують такі функції:

1. bank0 та bank1: макроси для вибору банку регістрів мікроконтролера.
2. swap: макрос для обміну значеннями двох регістрів.
3. copy16, copy24, copy32: макроси для копіювання 16, 24 та 32 біт між регістрами.
4. InitIO: ініціалізація пристроїв введення і виведення, налаштування режимів портів.
5. Measure: вимірювання частоти і збереження результату в 32-бітному числі F3.
6. Display: відображення значень на ЖК-дисплеї.
7. STROB, LINE2, HOME: робота з ЖК-дисплеєм.
8. S_push, S_swap: операції зі стеком для плаваючої коми.

9. F1_F3, F1_F2: обчислення певних виразів з використанням чисел F1, F2, F3.

10. Get_Lscale, Get_One: отримання констант для обчислень.

11. Get_F1, Get_F2, Get_F3: підготовка чисел F1, F2, F3 для подальших обчислень.

12. EE_RD, EE_Rinc, EE_R: операції з читання EEPROM.

Цей код використовується для роботи з різними апаратними компонентами, такими як ЖК-дисплей, EEPROM, таймер TMR0, WiFi-модуль.

Для запису програми в мікроконтролер (прошивки контролера) необхідно мікроконтролер підключити до інтегрованого середовища MPLAB IDE через програматор. Організація підключення показана нижче в розділі "Підключення програматора K150".

Програматор K150 призначений як для радіоелектроніки-любителів, які вже використовують мікроконтролери у своїх винаходах, так і для початківців, які тільки починають вивчати програмування.

PIC - Peripheral Interface Controller, що означає "контролер інтерфейсу периферії", виробляються компанією Microchip Technology. Назва виникла тоді, коли перші чіпи PIC були створені як контролери введення-виводу для мікропроцесорів у 70-80-х роках. З того часу лінійка мікроконтролерів PIC значно розширилася, наразі випускається понад 500 різновидів мікроконтролерів з різноманітними функціональними можливостями, і контролери PIC вважаються найпоширенішими в світі. Для зручності використання на платі контролера встановлено ZIF ("zero insertion force" – «з нульовим зусиллям») панель, яка дозволяє легко встановлювати та знімати мікросхему, не застосовуючи жодних зусиль – достатньо підняти та опустити ручку-фіксатор.[25]

Програматор PIC K150 - відома конструкція серед радіоаматорів. В Інтернеті існує багато ресурсів, де обговорюються питання програмування, прошивки, оновлення програмного забезпечення програматорів та програмного забезпечення для програмування мікроконтролерів.

USB програматор PIC K150 ICSP призначений для програмування та налагодження програм PIC контролерів (перелік сумісних мікроконтролерів наведено нижче) як через ZIF панель, так і через внутрішньосхемне програмування (ICSP). Програматор складається на мікроконтролері PIC16F1938, USB з'єднання з комп'ютером забезпечує мікросхема UART PL2303. Програматор має три роз'єми: для підключення до комп'ютера використовується стандартний інтерфейс USB, для підключення мікроконтролерів – 40-контактна ZIF панель з нульовим зусиллям та ручкою-фіксатором, для підключення ICSP шлейфу використовується 6-контактний ICSP роз'єм з позначенням контактів: NC, PGC, PGD, GND, VCC, VPP.

При підключенні програматора до комп'ютера через USB-кабель типу "А" - "В" (в комплекті), на платі активується червоний світлодіод (L3). Якщо операційна система не може самостійно встановити драйвер для невідомого пристрою, необхідно вручну завантажити драйвер з сайту Prolific.

Після визначення нового USB-підключення комп'ютером необхідно встановити програму для управління програматором та процесом програмування (установка режиму, параметри прошивки, читання даних контролера тощо).

Для встановлення програмованої мікросхеми потрібно підняти ручку ZIF панелі, вставити мікросхему та без зусиль опустити вниз. Зверніть увагу, що ключ мікросхеми повинен бути спрямований у бік ручки фіксатора панелі. У випадку використання програми DIY K150, місце встановлення 1 виведення мікросхеми (і ключа) буде вказано стрілкою на малюнку панелі у вікні програми. Після цього можна приступати до програмування відповідно до інструкції, яку надає використовувана програма.

При використанні внутрішньосхемного програмування один з роз'ємів ICSP-шлейфу з комплекту підключається до ICSP роз'єму на платі програматора, а інший – до аналогічного роз'єму на платі пристрою із встановленим програмованим контролером.

Після підключення мікроконтролера та запуску програми на платі програматора почне блимати світлодіод L1, що індикує обмін даними з комп'ютером.

Програматор підтримує наступні типи PIC-контролерів (мікроконтролери в корпусах 6, 8, 14, 18, 20, 28, 40 виводів):



Рис. 4.4 - Програматор PIC K150 ICSP

Технічні характеристики:

Напруга живлення: 5В, постійна, тільки від USB-порту

Сумісність з ПЗ: Windows 98, 2000, NT, XP та Windows 7/Win7 64bit

Габаритні розміри: 85x48x15 мм

Маса: 125г.[26]

4.3. Розрахунок метрологічних характеристик комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи

Необхідно виконати обробку результатів вимірювань, враховуючи можливі помилки та грубі відхилення. З метою автоматизації цього процесу, розроблено програму для обчислення методів програмно-алгоритмічної вимірювальної інформації. Для ефективної реалізації методів виключення

грубих помилок за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона, була розроблена програма в середовищі MATLAB.

З метою автоматизації обчислень для кожного з вказаних методів була створена відповідна програма. Нижче подано загальний підхід до реалізації кожного методу:

Критеріями Ірвіна

```
% Введення вихідних даних
x = [5.05, 4.94, 4.95, 5.06, 5.07, 5.06, 5.06, 4.95, 4.96, 4.96, 2.30, 5.02, 4.96, 4.91, 5.01, 5.06,
5.00, 5.03, 4.95, 5.05];

% Критерій Ірвіна
lambda = (max(x) - min(x)) / std(x);
lambda_q = 1.3;

if lambda > lambda_q
    disp('Нульова гіпотеза не підтверджується. Результат:');
    % Додаткові дії, якщо гіпотеза не підтверджується
else
    disp('Нульова гіпотеза підтверджується. ');
    % Додаткові дії, якщо гіпотеза підтверджується
end
```

Цей блок рахує коефіцієнт λ і порівнює його з заданим пороговим значенням λ_q . Якщо $\lambda > \lambda_q$, то вважається, що є груба похибка.

```
>> Untitled2
Нульова гіпотеза не підтверджується. Результат 2.3
```

Рис. 4.5 - Результат виконання програми за критерієм Ірвіна

Як бачимо з результатів обчислення програми, значення 2,30 вважається помилковим, тому його слід виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

Критерій Романовського:

```
% Критерій Романовського
suspicious_value = 2.30;
x_without_suspicious = x(x ~= suspicious_value);
x_bar = mean(x_without_suspicious);
differences = x_without_suspicious - x_bar;
squared_differences = differences.^2;
S = sqrt(sum(squared_differences) / (length(x_without_suspicious) - 1));

confidence_level = 0.95;
k = length(x_without_suspicious);
tp = tinv(confidence_level, k - 1);
```

```

threshold_value = tp * S;
if max(abs(x_without_suspicious - x_bar)) >= threshold_value
    disp(['Виявлено грубу похибку за критерієм Романовського. Помилкове значення: ',
num2str(suspicious_value)]);
    % Додаткові дії, якщо груба похибка виявлена
else
    disp('Груба похибка не виявлена за критерієм Романовського. ');
    % Додаткові дії, якщо груба похибка не виявлена
end
Виявлено грубу похибку за критерієм Романовського. Помилкове значення: 2.3

```

Рис. 4.6 - Результат виконання програми за критерієм Романовського

В результаті обчислень даної програми за критерієм Романовського виявлено значення з помітною похибкою: 2,30. Для подальшої обробки вибірки рекомендується виключити ці відомості.

Критерій Діксона:

```

% Критерій Діксона
r_min = (x(3) - x(1)) / (x(end - 2) - x(1));
r_max = (x(end) - x(end - 2)) / (x(end) - x(3));

rq_min = 0.450;
rq_max = 0.450; % Введіть значення r_q_max, яке може бути враховано у вашому випадку

if r_min > rq_min || r_max > rq_max
    disp(['Виявлено грубу похибку за критерієм Діксона. Помилкове значення: ',
num2str(suspicious_value)]);
    % Додаткові дії, якщо груба похибка виявлена
else
    disp('Груба похибка не виявлена за критерієм Діксона. ');
    % Додаткові дії, якщо груба похибка не виявлена
end
Виявлено грубу похибку за критерієм Діксона. Помилкове значення: 2.3

```

Рис. 4.7 - Результат виконання програми за критерієм Діксона

За використанням критерію виявлено, що значення 2,30 виявилось грубою похибкою в досліджуваній вибірці. З метою забезпечення точності та надійності аналізу, рекомендовано виключити це значення при подальшому опрацюванні результатів спостережень.

Висновки до четвертого розділу

У розділі 4 "Розробка програмно-алгоритмічного та метрологічного забезпечення комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи" викладено детальний алгоритм роботи системи вимірювання індуктивності та ємності. Починаючи з ініціалізації та підключення необхідних ресурсів, проходженням крізь процес калібрування та основний цикл вимірювань, до передачі результатів через Wi-Fi модуль.

Відзначається, що система включає ефективний механізм калібрування, забезпечуючи точність вимірювань та стабільність в роботі. Важливим є також вибір мови програмування асемблера та використання середовища розробки MPLAB, що підвищує оптимальність взаємодії з PIC-контролерами від Microchip.

Висновок розділу підкреслює логічність та системність алгоритму роботи, а також відзначає готовність системи до передачі результатів за допомогою Wi-Fi модуля. Загальний підхід до розробки програмно-алгоритмічного та метрологічного забезпечення дозволяє забезпечити високу ефективність та надійність вимірювань електронних компонентів.

Під час аналізу програмно-алгоритмічної вимірювальної інформації за допомогою критеріїв Ірвіна, Романовського та Діксона було виявлено грубу похибку. Для реалізації аналізу була створена відповідна програма. Зокрема, значення 2,30 визнано грубою похибкою за критерієм даними критеріями. Такі помилкові значення слід виключити при подальшому аналізі та обробці результатів спостережень для забезпечення точності та достовірності отриманих даних.

ВИСНОВКИ

У процесі розробки комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю індуктивності та ємності компонентів електронних схем було досягнуто важливі етапи. Спроековано структурну та принципово-електричну схему LC-вимірювача, що служить основою для точних та ефективних вимірювань.

У першому розділі проведено загальний огляд існуючих систем вимірювання індуктивності та ємності. Також розглянуті методи вимірювання індуктивності та ємності. Для розробки вимірювальної системи обрано метод резонансу.

В другому розділі було розглянуто фізичний принцип вимірювання індуктивності та ємності. Обґрунтовані складові структурної схеми та побудована структурна схема. Описана математична модель завдяки якій відбувається визначення індуктивності та ємності.

В третьому розділі був проведений вибір елементів системи вимірювання опору, приведений зовнішній вигляд елементів, розташування виводів та описані технічні характеристики.

На базі структурної схеми та обраних елементів була побудована принципова схеми вимірювальної системи індуктивності та ємності.

В четвертому розділі був розроблений алгоритм системи вимірювання індуктивності та ємності. На базі алгоритму написана програма для мікроконтролера.

Також був проведений експеримент з вибіркою в 20 виміряних значень індуктивності та ємності. Для аналізу та обрахунку метрологічного забезпечення комп'ютеризованої системи була створена програма. Вимірянні дані оцінені за критеріями Ірвіні, Романовського та Діксона. За виміряними критеріями програма визначає не припустимі значення, які відповідно виключити з вибірки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Як виміряти індуктивність та ємність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://um.co.ua/12/12-6/12-66824.html>.
2. How To Find the Time Constant in RC, RL and RLC Circuits? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forumelectrical.com/how-to-find-the-time-constant-in-rc-rl-and-rlc-circuits/>.
3. LCR-метр LUTRON LCR-9172 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://thermolab.net.ua/ua/p1634319764-lcr-metr-lutron.html>.
4. Обзор LC-метра MLC500 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cxem.net/review/review50.php>.
5. Прецизійний цифровий мультиметр SIGLENT SDM3045X [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/opefa>.
6. Мультиметр MASTECH MY6243 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://electronoff.ua/good/multimetr-my6243-izmeritel-emkosti-i-induktivnosti.php>.
7. Microcontroller [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshgw>.
8. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. 2-е вид. / За ред. А.Г. Соскова. - К.: Каравела, 2009, 416 с.
9. Дисплей [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Дисплей>.
10. Смагін А. Г., Ярославський М. І. П'єзоелектрика кварцу та кварцові резонатори [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/П'єзоелектрика_кварцу_та_кварцові_резонатори.
11. Кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Кнопка>.
- 12... Акумулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshhb>.
13. WI-fi модуль [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua5.org/internet/2230-hmarni-servisy.html>.
14. Критерій Трьох Сигм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vuzlit.com/39873/kriteriy_tryoh_sigm.
15. Критерій Смирнова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/eabud>.
16. Груба похибка та методи її виключення [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%9F%D0%A2%D0%90%D0%A8%D0%95%D0%9D%D0%A7%D0%A3%D0%9A/page6.html.

17. Мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshhf>

18. Стабілізатор AMS1117 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_7562.html.

19. Символьний дисплей LCD1602 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/1602-simvolniy-displey-siniy>.

20. Wi-Fi модуль ESP8266 версія ESP-01 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod980-wifi-modyl-esp8266>.

21. Кварцовий резонатор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://klmaster.com/ua/catalog/kvarc-16mgc-697/>.

22. Катушка індуктивності B82477G4104M000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshhj>.

23. Акумулятор 9В [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tehbezpeka.ua/ua/p898820684-akkumulyatornaya-batareya-volt.html>

24. Прошивка PIC мікроконтролерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshhq>.

25. Середовище програмування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://surl.li/oshhx>.

26. Програмактор PIC K150 ICSP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_1140.html.

27. Поджаренко В. О., Кухарчук В. В. Вимірювання і комп'ютерно-вимірювальна техніка. -К. : УМК ВО, 1991.

28. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборры и методы измерений: Пер. с англ. – М. : Мир, 1990.

29. Гуржій А. М., Поворознюк Н.І. Електричні і радіотехнічні вимірювання: Посіб. для пед працівників та учнів проф.-техн. Навч. Зал. - К.:Навч. Книга, 2002. - 287ст.

30. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем / Єременко В.С., Бабак В.П., Бабак С.В. та ін.: за ред. Бабака В.П. – К.: Ун-т новітніх технологій НАУ, 2017. – 496 с.

31. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник. 2-е вид. / За ред. А.Г. Соскова. - К.: Каравела, 2009, 416 с.

32. Комп'ютерна електроніка [Електронний ресурс] : підручник для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізації «Інтегровані інформаційні системи» / А.О. Новацький ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 80.9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 468 с.

33. Бойко В. І. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої / В. І. Бойко та ін. – Київ : Вища шк., 2004.

34. Бойко В. І. Схемотехніка електронних систем. В 2 Кн. Кн. 2.

35. Цифрова схемотехніка / В. І. Бойко, А. М. Гуржій, В. Я. Жуйков та ін. – «Вища школа», 2004.

36. Гніліцький В. В. Аналогова електроніка : навч. посіб. / В. В. Гніліцький, Є. С. Купкін, А. О. Новацький. – Житомир : ЖДТУ, 2012.