

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи
магістра

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

Виконав: студент 2 курсу, групи ІВТ-2м
Спеціальності: 175 «Інформаційно-
вимірювальні технології»
Стаховський Ілля Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.е.н., к.т.н., професор
Єфіменко Надія Анатоліївна
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище та ініціали)

Рецензент:

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

Житомир – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Спеціальність 175 «Інформаційно-вимірювальні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій

д.т.н., професор Подчашинський Ю.О.

« 14 » листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

Студент

Стаховський Ілля Володимирович

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

Керівник роботи: д.т.н., професор Подчашинський Юрій Олександрович

затверджена наказом по університету від « 14 » листопада 2024 р. № 654/с

2. Термін здачі закінченої роботи на кафедру « 23 » грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Вимірювання індуктивності та ємності, функції комп'ютеризованої системи, вимикання/вимикання системи, вивід вимірюваних значень ємності та індуктивності на дисплей; система передача вимірюваних даних ємності та індуктивності на відстань; галузь застосування електротехніка та електроніка, комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці) огляд та аналіз існуючих методів вимірювання індуктивності та ємності, розробка структурної схеми системи, вибір технічних засобів вимірювальної системи, розробка алгоритму та програми для вимірювальної системи та обробки експериментальних даних, оцінка вимірюваних значень ємності індуктивності

5. Перелік графічного матеріалу

структурна схема вимірювань, принципова схема вимірювальної системи, блок-схема алгоритму роботи вимірювальної системи

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-2	Єфіменко Н.А.		
3-4	Єфіменко Н.А.		

7. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	аналіз існуючих систем вимірювання ємності та індуктивності	14.11.24 – 15.11.24	Виконано
2	Формулювання завдання роботи	16.11.24 – 18.11.24	Виконано
3	Вибір методу вимірювань ємності та індуктивності	19.11.24 – 22.11.24	Виконано
4	Розробка структурної схеми	23.11.24 – 24.11.24	Виконано
5	Вибір технічних засобів вимірювальної системи	25.11.24 – 27.11.24	Виконано
6	Розробка алгоритму та програми роботи	28.11.24 – 29.11.24	Виконано
7	Розробка програми оцінки метрологічних характеристик	30.12.24 – 1.12.24	Виконано
8.	Проведення експерименту з виміряними даними ємності та індуктивності	10.12.24 – 11.12.24	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки та презентації	14.12.24 – 22.12.24	Виконано

Студент

Стаховський І.В.

(підпис)

Керівник роботи

Єфіменко Н.А.

(підпис)

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем.

В першому розділі роботи були розглянуті аналогічні пристрої вимірювання ємності та індуктивності.

В другому розділі обґрунтовані компоненти системи та накреслена структурна схема.

В третьому розділі описані обрані компоненти системи вимірювання ємності та індуктивності. На базі опису та технічних характеристик побудована принципова схема.

В четвертому розділі був розроблений алгоритм роботи та складена відповідна програма для мікроконтролеру. Для дистанційного відображення була розроблена веб-сторінка для показників ємності та індуктивності. Також була написана програма для оцінювання 20 значень ємності.

Ключові слова: мікроконтролер, ємність, індуктивність, похибки визначення вимірювань, інформаційно-вимірювальні системи.

ABSTRACT

In this qualification work, a computerized system for measuring and controlling the capacitance and inductance of electronic circuit components was developed.

In the first section of the work, similar devices for measuring capacitance and inductance were considered.

In the second section, the components of the system are substantiated and a structural diagram is drawn.

In the third section, selected components of the capacitance and inductance measurement system are described. Based on the description and technical characteristics, a schematic diagram is built.

In the fourth section, an algorithm of operation was developed and a corresponding program for a microcontroller was compiled. For remote display, a web page for capacitance and inductance indicators was developed. A program was also written to evaluate 20 capacitance values.

Keywords: microcontroller, capacitance, inductance, measurement errors, information and measuring systems.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ВОДИ....	11
1.1.Огляд існуючих рішень вимірювання ємності та індуктивності.....	11
1.2. Опис існуючих методів вимірювання ємності та індуктивності	18
Висновки до 1 розділу.....	22
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	23
2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми.....	23
2.2. Обґрунтування мікропроцесору.....	23
2.3.Обґрунтування вибору wi-fi модуля.....	25
2.4. Обґрунтовування та вибір типу стабілізатора напруги.....	27
2.5. Обґрунтовування та вибір типу дисплея.....	29
2.6. Обґрунтовування та вибір типу реле.....	29
2.7. Обґрунтовування та вибір типу кварцового резонатора.....	30
2.8. Обґрунтування вибору кнопки.....	31
2.9. Обґрунтовування та вибір типу акумулятора	32
2.10. Структурна схема.....	33
Висновки до 2 розділу.....	34
3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ.....	35
3.1. Вибір мікропроцесору.....	35
3.2. Вибір wi-fi модуля.....	36
3.3. Вибір стабілізатора напруги.....	39
3.4. Вибір дисплея.....	39
3.5. Вибір реле.....	40
3.6. Вибір кварцового резонатора	41
3.7. Вибір кнопки	42
3.8. Вибір катушки індуктивності.....	42
3.9. Вибір акумулятора	43
3.10. Побудова електрично-принципової схеми.....	44
3.11.Розробка друкованої плати.....	47
Висновок до 3 розділу.....	50
4.РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНОГО ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	51
4.1.Розробка алгоритму.....	51
4.2.Розробка програми для мікропроцесору.....	52
4.3. Розробка програми для веб-сторінки.....	53
4.4.Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації.....	56
Висновок до 4 розділу.....	64
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	69

Додаток А.....	70
Додаток Б.....	78
Додаток В.....	81
Додаток Г.....	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ – акумуляторні батареї

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ДП – друкована плата

КІВС – комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система

МК – мікроконтролер

ОЗП – оперативно-запам'ятовуюча пам'ять

ПВ – перетворювач вторинний

ПЗП – постійно запам'ятовуюча пам'ять

СКВ – середнє квадратичне відхилення

ВСТУП

Актуальність теми. У сфері електроніки та схемотехніки критично важливо мати точні дані про ємність конденсаторів та індуктивність котушок. Хоча компоненти зазвичай маркуються виробником, зчитування маркування може бути ускладнене через брак часу або обмежений зір користувача. Точне визначення характеристик компонентів необхідне як при розробці, так і при тестуванні електронних схем. Для забезпечення коректної роботи схеми потрібно проводити безпосередні вимірювання параметрів індуктивності та ємності. Саме тому інструмент для вимірювання цих параметрів є невід'ємною частиною арсеналу сучасного техника чи інженера.

Стандартні мультиметри, які поєднують різні функції вимірювання, можуть служити альтернативою спеціалізованим приладам. Вони здатні вимірювати основні електричні параметри: напругу, струм, опір, ємність та температуру. Однак суттєвим недоліком більшості мультиметрів є відсутність функції вимірювання індуктивності. Для отримання цих показників часто потрібні додаткові пристрої-приставки, що ускладнює процес вимірювання.

Проект спрямований на створення комп'ютеризованої системи для вимірювання та контролю ємності та індуктивності електронних компонентів. Ключовими перевагами розроблюваної системи є простота використання та калібрування. Система працює за принципом вимірювача частоти, використовуючи генератор коливань та коливальний контур для визначення величин індуктивності та ємності компонентів.

Метою даної роботи є розробка комп'ютеризованої системи вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем з розширеними технічними та підвищеними метрологічними характеристиками.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір контрольованого параметра і розробка на його основі структури KIVC для вимірювання ємності та індуктивності;

- розробка структурної та принципової схеми комп'ютеризованої системи вимірювання ємності та індуктивності;
- розробка блок-схеми алгоритму та програми забезпечення вимірювання ємності та індуктивності;
- розробка метрологічного забезпечення КІВС шляхом експериментального підтвердження метрологічних похибок виміряних значень ємності та індуктивності.

Об'єкт дослідження – процеси вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система для вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем.

Методи дослідження базуються на аналітичному виведенні рівнянь математичної моделі вимірювального каналу, використанні методів визначення ємності та індуктивності компонентів, використанні обчислювальних блоків у вимірювальному каналі, застосуванні методів комп'ютерного моделювання з наступною статистичною обробкою отриманих результатів.

Наукова новизна даної роботи полягає в:

- 1) Удосконалено структурну схему комп'ютеризованої системи для вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем;
- 2) Удосконалено програмно-алгоритмічний метод визначення ємності та індуктивності компонентів електронних схем та написано програму для дистанційного виводу на веб-сторінку.

Практична цінність даної роботи полягає в:

- 1) вибрано сучасну елементну базу системи для вимірювання ємності та індуктивності компонентів електронних схем;
- 2) розраховано метрологічні характеристики комп'ютеризованої системи для ємності та індуктивності компонентів електронних схем;
- 3) пропонується додати до схеми wi-fi модуль та створити веб-сторінку, що дозволить передачу виміряних даних ємності та індуктивності

компонентів на відстань безконтактним шляхом.

Структура та обсяг роботи. Дана робота складається з анотації, вступу, 3 основних розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел та додатку. Робота викладена на 69 сторінках основного тексту і містить 23 рисунки, 6 таблиць та 21 джерело.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ВОДИ

1.1.Огляд існуючих рішень вимірювання витрати води

Існує багато приладів для вимрювання ємностей та індуктивності. Найчастіше це комплексні прилади – мультиметри.

LC-200A 1pF-100mF 1uH-100H високоточний вимірювач ємності та індуктивності з цифровим дисплеєм LC-метрпредставлений на рис.1.1.



Рис. 1.1. LC-200A 1pF-100mF 1uH-100H високоточний вимірювач ємності

У розробці електроніки інженерам часто необхідно вимірювати індуктивність і ємність, вимірювач індуктивності та ємності має високу ціну на ринку, а також вимірювати невеликі похибки в невеликих котушках індуктивності та конденсаторах, прилад заснований на принципі LC-резонансу, додаючи високошвидкісний мікроконтролер. може вимірювати невелику ємність та індуктивність менше 1 пФ, що є найбільшою особливістю приладу, та особливо підходить для виробництва мікрохвильових імпульсних силових трансформаторів та вимірювань індуктивності.

Технічні особливості:

1. Живлення: +5 В, інтерфейс miniUSB, 4 батареї AA (не входять до комплекту).

2. Точність виміру: 1%.
3. Діапазон виміру ємності: 0,01 пФ – 10 мкФ.
4. Мінімальна роздільна здатність: 0,01 пФ.
5. Великий діапазон вимірювання ємності: 1 мкФ-100 мФ/мінімальна роздільна здатність: 0,01 мкФ.
6. Діапазон вимірювання індуктивності: 0,001 мкГн – 100 мГн.
7. Великий діапазон вимірювання індуктивності: 0,001 мГн – 100 Гн.
8. Мінімальна роздільна здатність: 0,001μН.
9. Діапазон випробувальних частот L/C близько 500 кГц/велика індуктивність 500 Гц.
10. Ефективні цифри дисплея: 4 цифри.
11. Режим РК-екрана: 1602.
12. Розмір: 15 см x 9 см x 3,5 см - 5,91 x 3,54 x 1,38 дюйма.[1]

Високоточний цифровий мультиметр UNIT UT39C представлений на рис.1.2.



Рис.1.2. Високоточний цифровий мультиметр UNIT UT39C

Високоточний цифровий мультиметр UNIT UT39C – Ваш незамінний інструмент для вимірювань

Цифровий мультиметр UNIT UT39C – це професійний прилад, який поєднує в собі точність, надійність та широкий спектр функцій, що робить його ідеальним для електриків, технічних спеціалістів та домашніх майстрів. Завдяки своїй універсальності, він підходить як для професійного використання, так і для побутових потреб.

Ключові характеристики та переваги

1. Висока точність вимірювань: UNIT UT39C забезпечує точність до 0,5%, що робить його надійним інструментом для виконання складних електричних вимірювань.

2. Широкий діапазон вимірювань:

- Напруга: 0-600 В (постійна та змінна)
- Струм: до 10 А
- Опір: до 20 МОм
- Ємність: до 100 мкФ
- Частота: до 10 МГц

3. Зручний та інформативний дисплей: Великий РК-дисплей з підсвіткою дозволяє легко зчитувати результати вимірювань навіть у темряві або в умовах низького освітлення.

4. Автоматичний вибір діапазону: Ця функція спрощує процес вимірювання, оскільки мультиметр самостійно підбирає оптимальний діапазон.

5. Міцна конструкція: Прилад виготовлений з високоякісних матеріалів, що забезпечує його стійкість до механічних пошкоджень та тривалий термін служби.

6. Безпека: UNIT UT39C відповідає міжнародним стандартам безпеки, що робить його безпечним у використанні в різних умовах.

Технічні характеристики:

- Напруга: 0-600 В (DC/AC);
- Струм: до 10 А;
- Опір: до 20 МОм;
- Ємність: до 100 мкФ;

- Частота: 10 Гц – 10 МГц;
- Дисплей: РК-дисплей з підсвіткою;
- Живлення: Батарея 9 В. [2]

Мультиметр цифровий з True RMS PROTESTER PM18C представлений на рис.1.3.



Рис.1.3. Мультиметр цифровий з True RMS PROTESTER PM18C

Мультиметр із True RMS PROTESTER PM18C – це багатофункціональний прилад для вимірювання різних параметрів електричних ланцюгів.

Цифровий мультиметр PM18C має такі можливості:

- Вимірювання змінної та постійної напруги;
- Вимір опору;
- Вимір ємності;
- Тестування транзисторів;
- Вимірювання постійного та змінного струму;
- Перевірка та тестування ланцюга;
- Вимірювання частоти змінного струму;
- Тест діодів;

- Безконтактне визначення напруги (NCV);
- Вимірювання температури;
- Функція TrueRMS для більш точного вимірювання напруги;
- Функція вимірювання коефіцієнта заповнення.

Технічні характеристики:

- Вимірювані параметри: напруга, струм, опір, ємність, частота, шпаруватість, температура;
- Діапазон напруга DC: 600 мВ/6 В/60 В/600 В/1000 В;
- Роздільна здатність: 0,1 мВ / 1 мВ / 10 мВ / 100 мВ / 1 В;
- Похибка: 0,5% +3 Є.М.Р.;
- Діапазон напруга AC: 6 В/60 В/600 В/750 В;
- Роздільна здатність: 1 мВ / 10 мВ / 100 мВ / 1 В;
- Похибка: 0,8% +3 Є.М.Р.;
- Сила струму DC: 60 мкА/60 мА/600 мА/20 А;
- Роздільна здатність: 0,01 мкА / 0,01 мА / 0,1 мА / 10 мА;
- Похибка: 0,8% +3 Є.М.Р. / 1,2% +3 є.м.р.;
- Сила струму AC: 60 мА/600 мА/10 А;
- Роздільна здатність: 0,01 мА / 0,1 мА / 10 мА;
- Похибка: 1,0% +3 Є.М.Р. / 1,5% +3 є.м.р.;
- Опір: 600 Ом / 6 кОм / 60 кОм / 600 кОм / 6 МОм / 60 МОм;
- Роздільна здатність: 0,1 Ом / 1 Ом / 10 Ом / 100 Ом / 1 кОм / 10 кОм;
- Похибка: 0,8% +3 Є.М.Р. / 1,2% +30 є.м.р.;
- Ємність: 6 нФ/60 нФ/600 нФ/6 мкФ/60 мкФ/600 мкФ/6 мФ/100 мФ;
- Роздільна здатність: 0,001 нФ/0,01 нФ/0,1 нФ/1 нФ/10 нФ/100 нФ/1 мкФ/0,01 мФ;
- Похибка: 4,0% +30 є.м.р. / 4,0% +3 є.м.р. / 5,0% +3 є.м.р.;
- Частота: 9,999 Гц/99,99 Гц/999,9 Гц/9,999 кГц/99,99 кГц/999,9 кГц/9,999 МГц;
- Роздільна здатність: 0,001 Гц, 0,01 Гц, 0,1 Гц, 0,001 кГц, 0,01 кГц, 0,1 кГц, 0,001 МГц;

- Похибка: 1,0% +3 Є.М.Р.;
- Діапазон вимірювання температури: -20 ~ +1000 °C;
- Похибка: 1,0% +3 Є.М.Р.;
- Функція True RMS: є;
- Дод. функції: статистика, тест діодів, провідність, тест транзисторів, NCV;
- Вибір меж: Ручний;
- Кількість відліків: 6000;
- Живлення: 4x1.5 В (тип АА);
- Габарити: 190X89X50;
- Вага: 380 г.[3]

Мультиметр Aneng M119 представлений на рис.1.4.



Рис.1.4. Мультиметр Aneng M119

Компактний цифровий мультиметр Aneng M119 – прилад для вимірювання електричних параметрів при діагностиці та ремонті різної електроніки. Також прилад має функції: перевірки діодів, звукове продзвонювання ланцюга, NCV тестера та визначення фазного/нульового провідника. Результати вимірювань відображаються на великому РК-дисплеї, при роботі в умовах слабкого освітлення прилад оснащений підсвічуванням дисплея та ліхтариком.

Технічні характеристики:

- Визначення режимів вимірювання: автоматично;
- Дисплей: цифровий (6000 відліків);
- Частота оновлення даних: 1/3 с;
- Джерело живлення: 2x 1.5В ААА (купується окремо);
- Вимірювання DC/AC напруги: 0.5-600 ($\pm 0.5\%$);
- Вимірювання змінного струму: 20-600 мА ($\pm 3\%$);
- Вимірювання постійного струму: 20-600 мА ($\pm 5\%$);
- Вимір опору: 0.1 Ом - 60 МОм ($\pm 2.5\%$).[4]

Розглянувши аналогічні системи мільтіметрів та LC вимірювачів можна виділити такі переваги та недоліки. Переваги застосування мультиметрів наступні:

1. Універсальність - вимірювання різних параметрів одним приладом;
2. Портативність та компактність;
3. Простота використання;
4. Відносно низька вартість;
5. Швидкі вимірювання базових параметрів;
6. Автоматичний вибір діапазону в сучасних моделях;
7. Наявність додаткових функцій (прозвонка, тест діодів)/

Недоліки мультиметрів наступні:

1. Обмежена точність вимірювань ємності та індуктивності;
2. Неможливість вимірювання високочастотних параметрів;
3. Обмежений діапазон вимірювань;

4. Відсутність можливості вимірювання добротності та ESR;
5. Чутливість до завад;
6. Неможливість детального аналізу компонентів;
7. Обмежені функції для професійної діагностики.

Переваги застосування LC вимірювачів наступні:

1. Висока точність вимірювань;
2. Широкий діапазон вимірюваних величин;
3. Можливість вимірювання на різних частотах;
4. Вимірювання додаткових параметрів (добротність, ESR, тангенс кута втрат);

5. Автоматична компенсація паразитних параметрів;
6. Можливість детального аналізу компонентів;
7. Професійна діагностика несправностей;
8. Можливість калібрування та збереження результатів.

Недоліки застосування LC вимірювачів:

1. Висока вартість порівняно з мультиметрами;
2. Більші розміри та вага
3. Складніше управління;
4. Вузька спеціалізація;
5. Потребують регулярного калібрування;
6. Часто потребують стаціонарного живлення;
7. Довший час вимірювання для отримання точних результатів.

1.2.Опис існуючих методів вимірювання ємності та індуктивності

Залежно від об'єму вимірювання, необхідної точності результату, діапазону робочих частот використовують різні методи для вимірювання ємності. Найчастіше при вимірюванні параметрів застосовуються методи:

- вольтметра-амперметра;
- безпосередньої оцінки;
- мостовий;

- резонансний;
- дискретного відліку.

Мостовий метод вимірювання – це точний метод вимірювання електричних величин, заснований на зрівноваженні електричного моста.

Розглянемо його детально:

Принцип роботи:

1. Міст складається з чотирьох плечей, з'єднаних у замкнутий чотирикутник;
2. В одну діагональ включається джерело живлення;
3. В іншу діагональ – індикатор нуля (гальванометр або електронний детектор);
4. В одне з плечей включається вимірюваний елемент.

Основні типи мостів: Міст Уїтстона (для вимірювання опору), Міст Максвелла-Віна (для вимірювання ємності), Міст Хей (для вимірювання індуктивності).

Процедура вимірювання заключається в наступному:

1. Підготовка. Підключення вимірюваного елемента. Встановлення початкових значень змінних елементів. Включення живлення.
2. Балансування. Регулювання змінних елементів. Досягнення мінімального показання індикатора. Точне налаштування для нульового показання.
3. Розрахунок. Застосування формул рівноваги. Врахування похибок. Обчислення кінцевого результату.

До переваги методу можна віднести. Висока точність вимірювань. Можливість вимірювання в широкому діапазоні. Нечутливість до коливань напруги живлення. Можливість вимірювання додаткових параметрів. Відсутність впливу власних параметрів приладів

До недоліків методу можна віднести. Складність балансування. Необхідність точних еталонних елементів. Тривалість процесу вимірювання. Вплив паразитних параметрів. Необхідність кваліфікованого персоналу.

Метод резонансної оцінки – це метод вимірювання ємності та індуктивності, що базується на явищі резонансу в коливальному контурі. Розглянемо його детально.

Принцип роботи полягає в наступному:

1. Вимірюваний елемент (L або C) включається в коливальний контур;
2. Змінюючи частоту або параметри контуру, досягають резонансу;
3. За резонансною частотою та відомими параметрами розраховують шукану величину.

Процедура вимірювання полягає в наступному:

1. Підготовчий етап. Збирання вимірювальної схеми. Калібрування приладів. Підключення вимірюваного елемента.
2. Вимірювання. Плавна зміна частоти/параметра. Фіксація резонансної точки. Вимірювання необхідних параметрів
3. Розрахунок. Використання формули Томсона. Врахування поправок. Обчислення кінцевого результату.

До переваги методу відносять: високу чутливість, можливість вимірювання малих величин, придатність для високочастотних вимірювань, простота реалізації, наочність процесу. вимірювання

До недоліків можна віднести: вплив паразитних параметрів, залежність від добротності контуру, необхідність точного налаштування, чутливість до зовнішніх завад обмежений діапазон вимірювань.

Метод вольтметра-амперметра - це прямий метод вимірювання ємності та індуктивності, оснований на вимірюванні струму та напруги. Розглянемо детально:

Принцип вимірювання ємності:

1. На конденсатор подається змінна напруга відомої частоти;
2. Вимірюється струм через конденсатор і напруга на ньому;
3. Ємність розраховується за формулою:

$$C = I / (2\pi f U) \quad (1.1)$$

де:

- I - струм через конденсатор;

- f - частота напруги;
- U - напруга на конденсаторі.

Принцип вимірювання індуктивності:

1. Через котушку пропускається змінний струм
2. Вимірюється напруга на котушці і струм через неї
3. Індуктивність розраховується за формулою:

$$L = U / (2\pi f I) \quad (1.2)$$

де:

- U - напруга на котушці;
- f - частота струму;
- I - струм через котушку.

До переваги методу: простота реалізації, доступність обладнання, наочність вимірювань, можливість швидкої оцінки, легкість розрахунків.

До недоліків можна віднести: відносно низька точність, вплив власних параметрів приладів, обмежений діапазон вимірювань, чутливість до завад, похибки від нелінійності елементів.

Висновки до 1 розділу

У першому розділі проведено аналіз існуючих систем вимірювання ємності та індуктивності. До переваг таких приладів можна віднести: універсальність, портативність та компактність, простота використання, відносно низька вартість, швидкі вимірювання базових параметрів, автоматичний вибір діапазону в сучасних моделях, наявність додаткових функцій. До недоліків таких приладів можна віднести: обмежена точність вимірювань ємності та індуктивності, неможливість вимірювання високочастотних параметрів, обмежений діапазон вимірювань, відсутність можливості вимірювання добротності та ESR, чутливість до завад, неможливість детального аналізу компонентів, обмежені функції для професійної діагностики.

Також розглянуті методи вимірювання ємності та індуктивності. До таких методів можна віднести: вольтметра-амперметра, безпосередньої оцінки, мостовий, резонансний, дискретного відліку.

Для розробки вимірювальної системи витрат води обрано резонансний метод вимірювання.

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

2.1. Обґрунтування побудови структурної схеми

Комп'ютеризована система для вимірювання та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем буде виконувати наступні функції:

- Виведення виміряних значень ємності та індуктивності на дисплей;
- Виведення ємності та індуктивності на веб-додаток;
- Світлова сигналізація про різних режимах роботи;
- Вмикання та вимикання комп'ютеризованої системи.

Для виконання перерахованих функції необхідні наступні складові:

- 1) Кварцевий резонатор призначений для використання в аналогових та цифрових ланцюгах для стабілізації та виділення електричних коливань.
- 2) Дисплей для відображення виміряних показів ємності та індуктивності;
- 3) Свідодіоди для сигналізації роботи та режимів вимірювання ємності та індуктивності;
- 4) Модуль wi-fi для передачі виміряних значень ємності та індуктивності для виводу на веб-додаток;
- 5) Модуль для стабілізації напруги та струмів для модуля wi-fi;
- 6) Акумулятор живлення для живлення системи в цілому;
- 7) Кнопка вмикання системи;
- 8) Мікроконтролер для приймання вхідних сигналів, обробки сигналів та передачі показів на дисплей та веб-додаток.

2.2. Обґрунтування мікроконтролеру

Мікроконтролер — це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, що містить процесор, пам'ять та периферійні пристрої в одному корпусі.

Основні серії мікроконтролерів: AVR (Atmel/Microchip), PIC (Microchip), STM32 (STMicroelectronics), ESP (Espressif), MSP430 (Texas Instruments).

Таблиця 2.1. Порівняльна таблиця мікроконтролерів

Характеристика	AVR	PIC	STM32	ESP	MSP430
Архітектура	8-біт, 32-біт	8-біт, 16-біт, 32-біт	32-біт ARM Cortex	32-біт Tensilica Xtensa	16-біт
Продуктивність	Низька-середня	Середня	Висока	Висока	Низька
Енергоспоживання	Низьке	Середнє	Середнє	Високе у робочому режимі	Дуже низьке
Наявність периферії	Обмежена	Помірна	Розширена (USB, CAN, Ethernet)	Вбудовані Wi-Fi, Bluetooth	Обмежена
Ціна	Середня	Середня	Середня	Низька	Середня-висока
Простота вивчення	Висока (Arduino)	Середня	Середня-низька	Висока (Arduino Core, ESP-IDF)	Середня
Популярність	Висока	Середня	Висока	Висока	Низька
Стійкість до завад	Середня	Висока	Середня	Низька	Висока
Застосування	Навчальні проекти, IoT	Промислові системи	Універсальні проекти	IoT, смарт-пристрої	Енергоефективні пристрої
Інструменти розробки	Atmel Studio, PlatformIO	MPLAB X IDE	STM32Cube, Keil, PlatformIO	ESP-IDF, Arduino IDE	Code Composer Studio
Розмір пам'яті	До 256 КБ Flash	До 1 МБ Flash	До декількох МБ Flash	До 16 МБ Flash	До 512 КБ Flash

Висновки щодо застосування:

AVR: Ідеально підходить для навчання та простих проєктів, популярний завдяки Arduino.

PIC: Надійний у промислових умовах, але трохи складніший у програмуванні.

STM32: Потужний і універсальний, підходить для професійних рішень.

ESP: Оптимальний для IoT-застосувань завдяки вбудованому Wi-Fi та Bluetooth.

MSP430: Кращий вибір для енергоефективних пристроїв на батарейках.[5,6]

Виходячі з надійності зупинимо свій вибір на PIC мікроконтролерах.

2.3.Обґрунтування вибору wi-fi модуля

Для дистанційної передачі до веб-сторінки вимірювальних ємності та індуктивності необхідний wi-fi модуль.

Вайфай (від англ. Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi – бездротова правдивість відтворення) – торгова марка Wi-Fi Alliance та загальноживана назва для стандарту IEEE 802.11 передавання цифрових потоків даних по радіоканалах.

Для створення Wi-Fi мережі насамперед необхідно мати точку доступу, тобто спеціальне Wi-Fi обладнання. Найчастіше в ролі такого виступає роутер, підключений до провідної мережі інтернет. Роутер обладнаний радіомодулем, який виконує функції прийому і передачі бездротового сигналу. Такий же модуль повинен бути встановлений і всередині вашого комп'ютера, ноутбука, планшета або іншого пристрою, який потрібно підключити до бездротової Wi-Fi мережі (є, втім, і зовнішні Wi-Fi-адаптери, що підключаються через порт USB). Ці модулі можуть бути від різних виробників, і відрізнятися між собою конструкцією чіпа, але завдяки єдиному стандарту Wi-Fi забезпечується повна їх сумісність.

Щоб підключитися до інтернету через Wi-Fi мережу, недостатньо лише мати модуль Wi-Fi в ноутбучі або смартфоні (як думають деякі). Потрібно спочатку створити підключення до кабельного або супутникового інтернету, а потім вже «роздавати» цей інтернет через бездротову мережу в межах будинку або квартири. З іншого боку, у багатьох громадських місцях великих міст функціонує платна або безкоштовна мережа Wi-Fi, за допомогою якої можна підключитися до інтернету, маючи лише пристрій з підтримкою стандарту Wi-Fi.

В межах самого стандарту зв'язку Wi-Fi поступово з'явилося кілька специфікацій, які розрізняються між собою за швидкістю передачі даних і радіусу дії бездротової мережі.

802.11b Найперший стандарт бездротової Wi-Fi мереж, яка дозволяє працювати на швидкостях до 11 Мбіт / с у радіусі до 100 метрів (на відкритому просторі до 250 метрів).

802.11a, 802.11g – Стандарти, що прийшли на зміну 802.11b, вони дозволяють здійснювати передачу даних по бездротовій мережі зі швидкістю до 54 Мбіт / с, проте радіус дії Wi-Fi мережі в них становить трохи більше 50 метрів. Крім збільшення швидкості, в даних стандартах також набагато вищий рівень безпеки мережі завдяки застосуванню протоколів шифрування WPA / WPA2.

802.11n – Новий стандарт безпроводного зв'язку, розроблений в 2009 році і потенційно здатний передавати дані по Wi-Fi зі швидкістю до 600Мбіт / с (за умови застосування чотирьох зовнішніх всеспрямованих антен). Однак в реальних умовах експлуатації швидкість бездротового з'єднання становить трохи більше 100 Мбіт / с в радіусі не більше 50 метрів від точки доступу.

802.11ac – Новітній передовий стандарт Wi-Fi мереж, що працює на частотах 5-6 ГГц. У 2014 році відбулося прийняття фінальної версії специфікації 802.11ac, обіцяна швидкість передачі даних по бездротовій мережі в ній складає від 3000 Мбіт / с до 10 Гбіт / с (за умови використання восьми всеспрямованих MIMO антен).[6]

Отже, пропонується для дистанційного передачі вимірних даних застосування Wi-Fi модуля. Даний модуль буде організувати бездротовий зв'язок при проектуванні системи. Його «будова» дозволяє йому забезпечувати обмін даними за стандартами Wifi. Такий модуль повинен бути сумісним з мікропроцесором Atmega.

Пропонується використати сучасний готовий модуль Wi-Fi ESP.

ESPxx – це контролер, який працює зі стандартом безпроводного зв'язку Wifi і здатний виконувати код програм з вбудованої флеш-пам'яті. Чіп був розроблений і випущений китайською компанією Espressif і моментально став одним з найпопулярніших для даних цілей.

Сам вай фай модуль для ардуіно Wifi досить дешевий і містить невелику кількість зовнішніх елементів, маючи наступні технічні характеристики:

- Підтримка протоколів стандарту Wifi b/g/n з алгоритмами шифрування і захисту даних WEP, WPA, WPA2;
- Чотирнадцять портів вводу і виводу, послідовного периферійного інтерфейсу SPI, I2C, UART і 10-бітний аналого-цифровий перетворювач;
- Підтримка зовнішньої пам'яті до 16 Мб;
- Достатню для живлення напруга від 2.2 до 3.6 Вольт і споживання струму до 300 мА, яке залежить від режиму роботи [7].

2.4. Обґрунтування та вибір типу стабілізатора напруги

Стабілізатор напруги - це перетворювач електричної енергії, що дозволяє отримати на виході напругу, яка знаходиться в заданих межах, при значних коливаннях вхідної напруги і опору навантаження. Вони бувають лінійні та імпульсні.

Імпульсний стабілізатор напруги - стабілізатор, в якому регулюючий елемент (ключ) працює в імпульсному режимі, тобто регулюючий елемент періодично відкривається і закривається.

Енергія первинного джерела живлення передається через регулюючий

елемент певними порціями, заданими контуром регулювання так, щоб стабільним було середнє значення вихідної напруги. Згладжування пульсацій вихідної напруги відбувається завдяки наявності елемента (або поєднання елементів), здатного накопичувати електричну енергію та віддавати її у навантаження.

Імпульсний стабілізатор напруги в порівнянні з лінійним стабілізатором має менші втрати енергії на нагрівання регулюючого елемента, що підвищує ККД стабілізатора і дозволяє застосовувати регулюючий елемент меншої потужності, а радіатор менших розмірів та маси.

Переваги:

- високий ККД, особливо під час роботи у великому діапазоні вхідних напруги;
- малі габарити та маса (висока питома потужність) ;
- принципова можливість гальванічної розв'язки вхідних і вихідних ланцюгів, під час роботи від промислової мережі змінного струму не потрібно використання має великі габарити і вага трансформатора, розрахованого на частоту 50/60 Гц.

Недоліки:

- імпульсні перешкоди у вхідних та вихідних ланцюгах – як диференціальні (протифазні), так і перешкоди загального виду (синфазні перешкоди);
- більш висока нестабільність вихідної напруги за зміни вхідної напруги чи струму навантаження;
- більш тривалі перехідні процеси (більший час відновлення вихідної напруги після стрибкоподібної зміни вхідної напруги або струму навантаження) [8].

2.5. Обґрунтування та вибір типу дисплея

Дисплей – це електронний засіб для відтворення графічної й алфавітно-цифрової інформації. Дисплеї служать для передавання інформації від електронного пристрою до людини. Їх широко використовують у вимірювальних приладах, електронних годинниках, термометрах, калькуляторах, мобільних телефонах тощо.

Рідкокристалічний дисплей (LCD – Liquid Crystal Display) – це тип дисплеїв, який використовує властивості рідких кристалів для відображення інформації. Такі дисплеї широко застосовуються у побутовій електроніці, комп'ютерних моніторах, телевізорах, приладах, мобільних телефонах та багатьох інших пристроях.

Принцип роботи РК дисплеїв:

- Рідкі кристали: Речовина у проміжному стані між рідким і твердим, яка може змінювати свої оптичні властивості під впливом електричного поля.
- Поляризатори: Два поляризаційні фільтри, між якими знаходиться шар рідких кристалів.
- Підсвітка: Для відображення зображення потрібне джерело світла (LED або CCFL лампи). Світло проходить через поляризатори і шар кристалів.
- Електроди: Застосування електричного поля змінює орієнтацію молекул кристалів, що змінює кількість світла, яке проходить через фільтри.

Рідкокристалічні дисплеї залишаються основним стандартом завдяки їхній доступності, енергоефективності та універсальності.[9]

2.6. Обґрунтування та вибір типу реле

Реле – електричний пристрій (вимикач), призначене для замикання і розмикання різних ділянок електричних ланцюгів при заданих змінах електричних або неелектричних вхідних величин. Найчастіше, це автоматичний пристрій, який реагує на зміни параметру (температури, тиску, освітленості тощо) і який, у разі досягнення параметром заданої величини, замикає або розмикає електричне коло.

Реле застосовуються там, де потрібно контролювати електричне коло за допомогою сигналу з низьким енергоспоживанням з повною гальванічною розв'язкою, або де кілька схем повинні керуватися одним сигналом. Реле широко використовувалися на телефонних станціях й перших комп'ютерах для виконання логічних операцій.

Реле складається з релейного елементу (з двома станами стійкої рівноваги) і групи електричних контактів, які замикаються (розмикаються) у разі зміни стану релейного елементу. Реле на базі електронних, магнітних, оптичних або інших складників без механічно рухомих частин, носить назву твердотільне реле.

Розрізняють теплові, механічні, електричні, оптичні, акустичні реле, які застосовують в системах автоматичного керування, контролю, сигналізації, захисту, комунікації та інше.

Реле з каліброваними експлуатаційними характеристиками і іноді з кількома операційними котушками, використовуються для захисту електричних кіл від перевантажень і збоїв; у сучасних електроенергетичних системах ці функції виконуються за допомогою цифрових інструментів, які досі називають захисними реле. [10]

2.7. Обґрунтування та вибір типу кварцового резонатора

Кварцовий резонатор (кварц) – генератор електромагнітних коливань з високим ступенем сталості частоти. Основа такого радіокомпонента – кварцова

(або керамічна) пластина, на якій знаходиться два електроди. Під впливом струму пластина починає деформуватися, породжуючи вібрації певної частоти. Частота і тип вібрації залежить від типу кристала (його розмірів, форми, товщини), кількості електродів, нанесених на кристал, а також напруги та сили струму, які на нього надходять.

Кварцові резонатори є складовим компонентом генераторів тактових імпульсів, які широко застосовуються в сучасній цифровій техніці. Переваги та недоліки перед аналогічними пристроями:

- Кварци можуть мати дуже невеликий розмір, аж до часток міліметра. Це дозволяє застосовувати їх навіть у наймініатюрніших пристроях та сучасних гаджетах.
- Сучасні кварцові резонатори мають надзвичайно великий термін служби.
- Також кварцові резонатори мають високу температурну стабільність. Навіть при високому нагріванні при роботі пристрою вони нормально функціонуватимуть.
- За допомогою кварцових резонаторів можна будувати ефективні та недорогі каскадні фільтри, які абсолютно не потребують ручного налаштування.

Крім такого величезного набору переваг, кварцові резонатори мають недоліки. Точніше лише один:

- Дуже вузький діапазон підстроювання частоти зовнішніми пристроями. Для створення багатодіапазонних систем доводиться збирати синтезатори частоти різного ступеня складності.[11]

2.8. Обґрунтування вибору кнопки

Кнопка включення чи виключення – це механічний пристрій передачі сигналу/введення інформації: елементарний фізичний механізм передачі електричного сигналу різним пристроям шляхом замикання або розмикання двох або більше контактів. За своєю суттю є датчиком зовнішнього фізичного впливу (зусилля натискання), що передає далі факт такого з'єднаного з ним пристроїв. Для користувача термін «кнопка» обмежений кришкою, частиною конструктиву механізму «кнопка», на яку він, власне, і натискає.

У більш широкому сенсі кнопка – певна обмежена поверхня, натискання на яку є подією (не обов'язково викликає комутацію електричного ланцюга), що призводить до реакції у відповідь пов'язаного з нею пристрою.

Замикання (розмикання) контактів кнопки відбувається при додатку деякого, заданого конструктивно, зусилля вздовж \ уявної осі натискання, яка найчастіше перпендикулярна площині кріплення кнопки. [12]

2.9. Обґрунтування та вибір типу акумулятора

Акумулятор - це багаторазове джерело струму, яке призначене для накопичення та зберігання енергії.

Його робота заснована на оборотних окиснювально-відновних реакціях, що дає можливість використовувати батарею багаторазово. 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 літєві батареї перевершують свинцеві батареї за швидкістю реакції.

Для побутових приладів та інструментів використовується кілька типів акумуляторних батарей.

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

Недоліки: швидко саморозряджається, має низьку щільність енергії, має "ефект пам'яті", що призводить до зниження корисної ємності при неповному розряді батареї.

2. Нікель-металогідридні (NiMh). Ця батарея пропонує до 50% більше енергії ніж нікель-кадмієві. Має короткий термін служби. Зараз вони масово використовуються для різної побутової техніки, але для телефонів та ноутбуків застосовуються ще прогресивніші види.

3. Літій-іонні (LiIon). Серед акумуляторів мають найвищу щільність енергії та найлегші. Найчастіше використовується для живлення ноутбуків, фотоапаратів та іншої техніки, але в сучасних телефонах вони вже використовуються рідко.

Їхній основний недолік у високій чутливості до перезаряду, тому в пристроях, де використовуються такі батареї, обов'язково встановлюють контролер, який обмежує заряд.

Літій-полімерні (LiPol). Основною їх відмінністю є те, що електроліт гелеподібний, тому такі акумулятори можуть бути дуже тонкими. Вони найчастіше застосовуються в мобільних телефонах, плеєрах та іншій техніці, що має невеликі розміри. Такі батареї також чутливі до перезаряду. Якщо порушується герметичність не можна експлуатувати таку батарею.[13]

2.10. Структурна схема

Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювань витрат води представлена на рис.2.7.

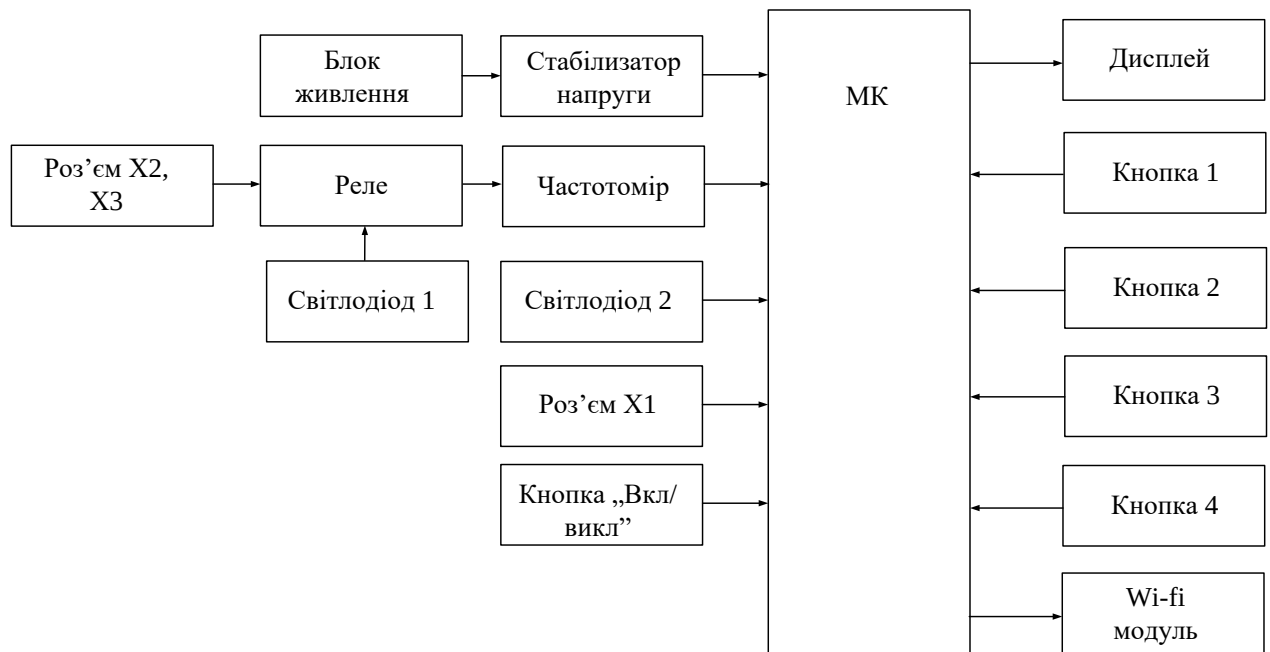


Рис. 2.7. Структурна схема комп'ютеризованої системи для вимірювання ємності та індуктивності

Схема складається з наступних елементів:

- Мікроконтролер PIC16F628A для управління пристроєм вимірювання;
- Блока живлення на 9В для живлення пристрою;
- Стабілізатора напруги 7508;
- Двох світлодіодів для показу вимірювання, що є активним при вимірюванні: ємність чи індуктивність;
- Реле для вибору режиму вимірювання ємності чи індуктивності
- Частотомір зібраний на транзисторах, частота якого змінюється в залежності від вимірюваних величин індуктивності або ємності, і в результаті обчислюється;
- Роз'єму X1 куди підключаються щупи для вимірювання
- Кнопки включення чи виключення пристрою вимірювання;
- Дисплей для виведення результату вимірювання ємності чи індуктивності;
- Wi-fi модуль для передачі виміряних даних на веб-сторінку;
- Чотири кнопки для калібрування пристрою вимірювання.

Висновки до 2 розділу

В другому розділі був обґрунтований вибір кожного елемента структурної схеми. Розглянуті визначення складових та їх основні типи. На базі обраних складових побудована структурна схема.

3. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ

3.1. Вибір мікроконтролера

При виборі мікроконтролера враховувалося надійність та продуктивність, важливою метою був вибір найменш дорогого МК. Це є 8-ми бітний мікроконтролер PIC16F1936 з флеш-пам'яттю, виготовлені за нановатною інтегральною технологією, який має внутрішній компаратор. Цей мікроконтролер найкраще підходить за своїми технічними характеристиками та можливостям. Використовувати більш потужний та дорожчий мікроконтролер в даній схемі буде не доцільно.

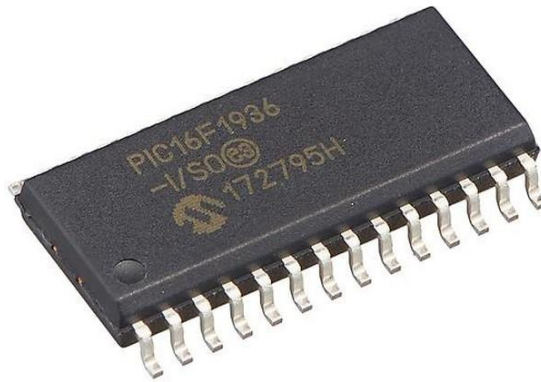


Рис. 3.1. Мікроконтролер PIC16F1936

Характеристики:

- Тактова частота: 32 МГц;
- Ширина шини даних: 8 bit;
- MIPS (продуктивність процесора) (MIPS): 8;
- Внутрішній генератор: 32 МГц;
- Технологія пам'яті (Тип пам'яті): Flash;
- Розмір програмної пам'яті (Програмна пам'ять): 14000 Б;
- Пам'ять даних (EEPROM): 256 Б;
- Пам'ять ОЗУ (SRAM): 512 Б;
- Кількість ліній введення-виводу (I/O): 25;
- Типи послідовних інтерфейсів і кількість каналів (Послідовні інтерфейси): EUSART, I²C, SPI;

- Напруга живлення (min) (U_{min}): 1.8 V;
- Напруга живлення (max) (U_{max}): 5.5 V;
- Мінімальна робоча температура (t_{min}): -40 °C;
- Максимальна робоча температура (t_{max}): 125 °C;
- Корпус: SOIC-28[14]

3.2. Вибір wi-fi модуля

Для передачі даних до веб-сторінки необхідно застосувати wi-fi модуль. Обираємо сумісний з мікроконтролером ESP-01 модуль, що представлений на рис.3.2.

Схема призначення виводів представлена на рис.3.3. Схема підключення до мікроконтролеру представлена на рис.3.4.[15]



Рисунок 3.2. Wi-fi модуль ESP-01

ESP-01 – це найпопулярніший Wi-Fi модуль серії ESP8266, який керується з комп'ютером або мікроконтролером через UART за допомогою набору AT-команд. Крім того, модуль можна використовувати як самостійний пристрій, для цього необхідно завантажити свою прошивку з користувацьким кодом. Сам мікроконтролер ESP8266 являє собою мережеве рішення з Wi-Fi трансівером на борту плюс можливість виконання додатків, що записуються в його пам'ять.

Модуль ESP-01 дуже дешевим та широкого використовується в пристроях IoT (Інтернет речей), в розумному будинку та охоронних системах. Наприклад в GSM-сигналізації ОКО-7S він використовується, як альтернативний канал передачі охоронних сигналів.

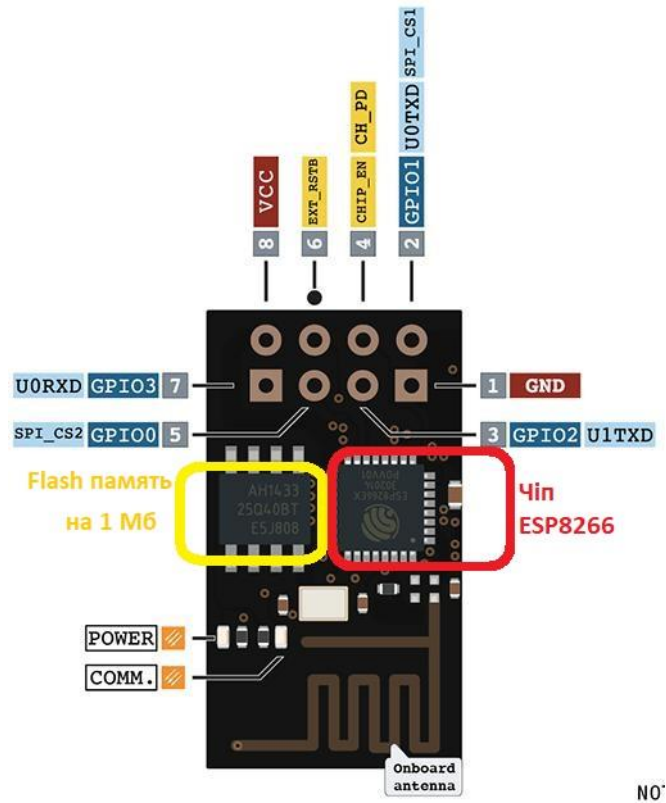


Рисунок 3.3.Розташування виводів wi-fi модуля ESP-01

Модуль ESP-01 є невеликою платою, на якій розташовані два основних чіпи, це мікроконтролер ESP8266 і flash пам'ять на 1 Мб (на ній міститься прошивка, оскільки мікроконтролер не має внутрішньої flash пам'яті). Поруч розташований кварцовий резонатор та друкована антена. На платі встановлено два світлодіоди, червоний та блакитний. Червоний світлодіод, світиться коли на модулі є живлення, а синій блимає при виконанні команд (У версії плати ESP-01S червоний світлодіод відсутній по причині споживання електроенергії). Для підключення модуля ESP-01, передбачено вісім виводів (з кроком 2,54 мм).

Призначення виводів ESP-01:

- GND: “-” живлення модуля;
- TX: UART передача;

- GPIO2: (Digital I/O програмований);
- CH_PD: (включення/відключення живлення, повинні бути виведені на 3,3 В безпосередньо або через резистор);
- GPIO0: (Digital I/O програмований, також використовується для режимів завантаження);
- RST: скидання, необхідно підтягнути до 3.3В;
- RX: UART прийом;
- VCC: “3,3В” живлення модуля.

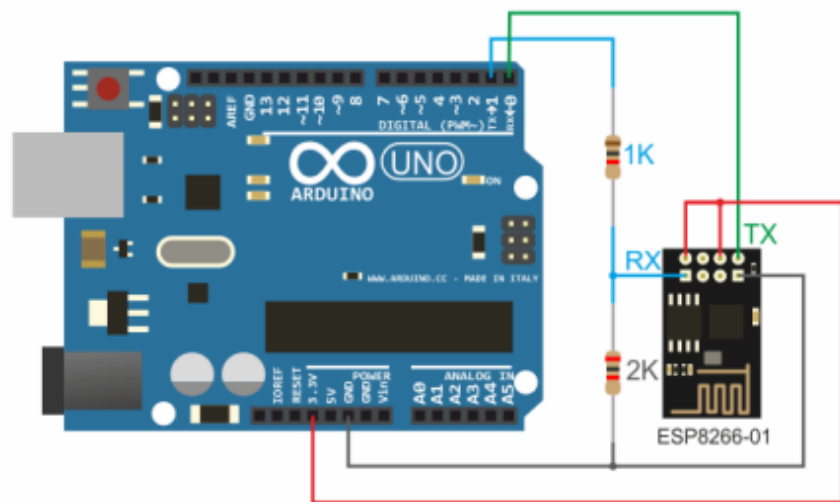


Рисунок 3.4. Схема підключення Ардуіно до wi-fi модуля ESP-01

Технічні характеристики модуля:

- Wi-Fi 802.11 b/g/n, 2,4 ГГц;
- Режими Wi-Fi: P2P (клієнт), soft-AP (точка доступу);
- Вихідна потужність Wi-Fi – 19,5 дБ;
- Напруга живлення – 1,8 – 3,6 В;
- Струм споживання – 220 мА;
- Портів GPIO: 2;
- Тактова частота процесора – 80 МГц;
- Об'єм пам'яті для коду – 1024 Кб;
- Оперативна пам'ять – 96 КБ;
- Розміри – 24,8 мм x 14,3 мм x 8 мм.[15]

3.3. Вибір стабілізатора

Класичний параметричний стабілізатор напруги 5В LM7805 в корпусі ТО-220. Стабілізатор незамінний в конструкціях, для яких важлива не тільки стабільність напруги, але і мінімальний рівень шумів напруги живлення. Має просте підключення та мінімальну кількість додаткових зовнішніх компонентів.



Рис. 3.5. Стабілізатор LM7805

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.

Характеристики:

- Вхідна напруга: от 7 В до 25 В;
- Вихідна напруга: 5 В;
- Максимальний вихідний струм: 1,5 А;
- Корпус: ТО-220. [16]

3.4. Вибір дисплея

Для виводу інформації було обрано модель WH1602В – це компактний дисплей, дані з різних датчиків виводиться на червоний 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. 3.6. LCD Дисплей WH1602B

Характеристики:

- 5x8 точок (включаючи курсор);
- Напруга живлення – 5В;
- Негативна напруга (на вибір) для +3В;
- 1/16 робочий цикл;
- LED керується PIN1, PIN2, PIN15, PIN16 або A і K;
- WH1602B2: сумарна товщина 10.0mm;
- Інтерфейс: 6800 (ST7066 IC або еквівалентний), На вибір SPI/I2C (RW1063 IC). [17]

3.5. Вибір реле

Електромагнітне реле G2RL-24-DC5 загального призначення має напругу котушки – 5 В, максимальний струм – 2 А, номінальний струм – 0.8 А



Рис. 3.7. Реле G2RL-24-DC5

Цілком підходить для вибору режиму вимірювання ємності чи індуктивності. Ці силові реле мають низький профіль з висотою 15,7 мм. Реле доступні в кількох типах, наприклад, однополюсні, двополюсні, реле високої потужності та високочутливі. Він забезпечує високу ізоляцію з відстанню ізоляції вище 8 мм і витримує імпульсну напругу 10 кВ між котушкою і контактами.[18]

3.6. Вибір кварцового резонатора

Кварцовий резонатор, частота 32 МГц у корпусі HC49/U3H з двома виходами (човник). Розмір: 11,35x5.0x3,5. Температурний діапазон: -20/+70С Стабільність частоти +/- 30ppm. Призначений для використання в аналогових та цифрових ланцюгах для стабілізації та виділення електричних коливань.



Рис. 3.8. Кварцовий резонатор

Основні характеристики:

- Коливальна частота 32 МГц;
- Розмір корпусу: 11.35×5×3.5 мм (HC-49S);
- Відхилення від частоти: +/-5ppm на рік (макс);
- Температурна стабільність: +/-30 ppm (в роб. діапазоні);
- Робоча температура: -20 до +70 град.С;
- Частота 16,0 МГц;
- Стабільність при 25°C 30 ppm;
- Монтаж HC49US;
- Навантажувальна ємність 7пФ.[19]

3.7. Вибір кнопки

Тактова кнопка AMP-X017 – 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. 3.9. Кнопка тактова AMP-X017

Технічні характеристики:

- Довжина: 6 мм;
- Ширина: 6 мм;
- Висота: 4.3 мм;
- Максимальний струм: 5200 mA;
- Максимальна напруга: 12 В;
- Кількість висновків: 4;
- Робоча температура: -20 до 70°C.

3.8. Вибір катушки індуктивності

Серія B82477G4823M, має високу надійність і електромагнітні характеристики. Індуктивності даної серії мають показник струму насичення на 30%, що перевищує аналогічний показник у стандартних серіях. Значення сили струму варіюється від 1,05 до 38 ампер при індуктивності 0,82 до 1000 мкГн.

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

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

Габарити даної серії складають 12,5*12,5 мм за максимальної висоти 8,5 мм. У зв'язку з наявністю магнітного екрану індуктивність може бути розташована в безпосередній близькості від інших компонентів на друкованій платі. Завдяки низькому опору та високому струму насичення серія B82477 може успішно конкурувати не лише з продукцією аналогічного класу.



Рис. 3.10. Катушка індуктивності B82477 G4823M

Технічні характеристики:

- Номінальна індуктивність – 82 мкГн;
- Допуск номінальної індуктивності –20 %;
- Активний опір – 0.145 Ом;
- Довжина корпусу –12.8 мм;
- Діаметр (ширина) корпусу – 12.8 мм;
- Максимальний постійний струм – 1900 мА;
- Вага – 4.2 г.[20]

3.9. Вибір акумулятора

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

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

Таблиця 4.2. Розрахунок живлення

Елемент	Напруга, U	Струм, I	Потужність, P
Мікроконтролер	5 В	0,25 А	1,25 Вт
Реле	5 В	0,8 А	4 Вт
Дисплей	5 В	0,1 А	0,5 Вт
Wi-fi модуль	3,3 В	220 мА	



Рис. 3.11. Акумуляторна батарея 9 В

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

3.10. Побудова електрично-принципової схеми

Всі складові вище описані та обґрунтовані, побудуємо принципову схему для системи вимірювання показників ємності та індуктивності (рис. 3.12).

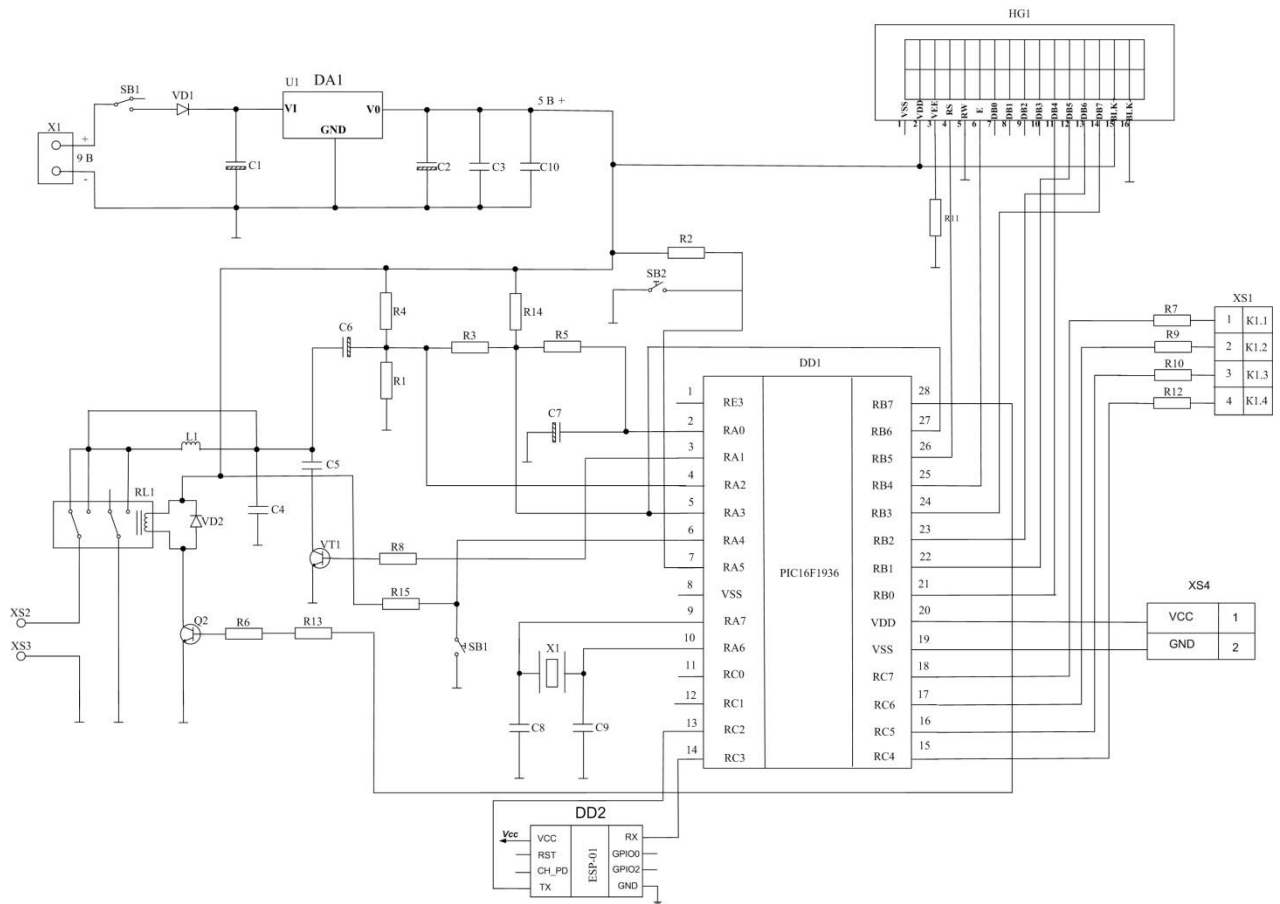


Рис. 3.12. Принципова схема

Складові схеми системи наступні:

- DD1 – мікроконтролер PIC16F1936;
- DA1 – мікросхема біполярного транзистора BC547B;
- DD2 – wi-fi модуль ESP-01;
- HG1 – рідкокристалічний дисплей LCD 1602 Blue I2C;
- SB1 – кнопка IS-1245T;
- SB2 – кнопка AMP-X017;
- VT1, VT2 – транзистор BC547B;
- VD1, VD2 – Діоди 1N4001;
- ZQ1 – кварцевий резонатор XRCGB16 32 МГц.

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. Похибка частоти становить 1

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

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.2)$$

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + Ccat)}} \quad (3.3)$$

$$F_3 = \frac{1}{2\pi\sqrt{l(C + Cx)}} \quad (3.5)$$

$$F_4 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C(l + lx)}} \quad (3.6)$$

$$C_x = \frac{\left(\frac{F_1}{F_3}\right)^2 - 1}{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1} \times Ccat \quad (3.7)$$

$$C_x = \left\{\left(\frac{F_1}{F_4}\right)^2 - 1\right\} \times \left\{\left(\frac{F_1}{F_2}\right)^2 - 1\right\} \times \frac{1}{Ccat} \times \left(\frac{1}{2\pi F_1}\right)^2 \quad (3.8)$$

Для обох невідомих величин L і C застосовується рівність 3.2 і 3.3. Середні значення F1 ми отримуємо за допомогою LC коливального контуру, потім приєднуємо Ccat паралельно коливальному контуру і отримуємо величину F2.

1. Для ємності потрібно знайти величину F3 (рівняння 3.5), залишаючи Cx паралельно коливальному контуру, потім обчислюється Cx з рівняння 3.7

2. Для індуктивності потрібно знайти величину F4 (рівняння 3.6), залишаючи Lx послідовно коливального контуру, потім обчислюється Lx з рівняння 3.8

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).

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

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

3.11.Розробка друкованої плати

Друкована плата – спеціальна діелектрична пластина із ланцюгами електронної схеми на поверхні для з'єднання електронних компонентів між собою. З'єднання електронних компонентів виконується електричним чи механічним способом. Розрізняють кілька видів друкованих плат. Потрібний тип визначається з урахуванням призначення та складності електронного пристрою на початковому етапі при складанні технічного завдання. Основні види плат: одношарові, двошарові, багатошарові, гнучкі, гнучко-жорсткі.

Для з'єднання виводів електронних компонентів використовується пайка. Для виготовлення електропровідного малюнка застосовується фольга. Кожна плата містить отвори для монтажу, контактні майданчики для кріплення планарних або вивідних компонентів.

Плата кілька шарів у своїй конструкції містить перехідні отвори, призначені для з'єднання ділянок фольги, що розташовуються на різних шарах виробу.

Одна сторона будь-якої плати, як правило, містить «паяльну маску» – захисне покриття, а також маркування – текст та малюнок, виконаний згідно з конструкторською документацією.

Розробка друкованих плат складається з кількох етапів. У процесі проведення робіт потрібно притримуватися вимогам міжнародних стандартів.

Визначення вимог до плати з урахуванням вихідних даних.

- Створення принципової схеми (основа розробки друкованої плати) – візуальне відображення елементів і зв'язку з-поміж них.
- Створення переліку та детального опису всіх елементів плати, зокрема розмірів, функцій, електричних властивостей деталей.
- Попереднє встановлення елементів і створення доріжок (операції можуть проводитися вручну або за допомогою спеціалізованих комп'ютерних програм).

- Трасування або проектування провідників – встановлення зв'язку між усіма компонентами пристрою.

- Тестування пристрою та внесення виправлень, усунення неточностей та помилок у разі потреби.

- Заключний етап – оформлення конструкторської документації для електронних пристроїв.

Протягом усього циклу виготовлення варто враховувати чинні стандарти ІРС та вимоги, що пред'являються для виробництва та тестування. Також необхідно аналізувати тепловий режим роботи виробу.

Існує два способи виготовлення плат. Кожен з них має свої відмінні властивості та характеристики. Виготовлення друкованих плат може проводитись одним із наступних методів:

1. Адитивний. При використанні даного методу малюнок наноситься на нефольговану поверхню за допомогою хімічного міднення через маску.
2. Субтрактивний. Цей спосіб передбачає формування малюнка на фольгированном матеріалі у вигляді видалення зайвих ділянок.[23]

Друкована плата вимірювача індуктивності та ємності приведені на рис.

3.13. а,б

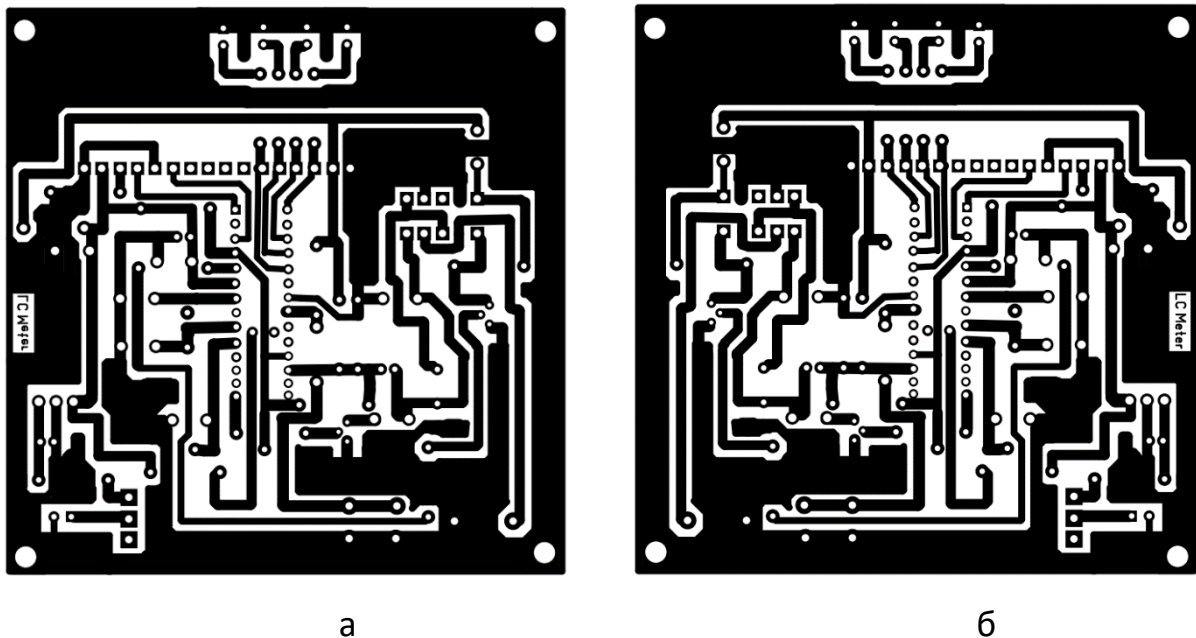


Рисунок 3.13. Друкована плата вимірювача індуктивності та ємності:

а – зовнішня сторона плати; б – дзеркальне відображення

Для виготовлення друкованої плати був обраний комбінований позитивний метод. Відповідно до нормативу вибрано четвертий клас точності друкованої плати. Габаритні розміри становлять 85 x 85 мм, висота пристрою не більше 20 мм. Матеріал склотекстоліт товщиною 2 мм, основа його становить скловолокно, листи якого просякнуті термореактивним епоксифенолом. Відстань між сусідніми лініями координатної сітки встановлюється відповідно до ГОСТу - 1,25 мм. Спосіб нанесення малюнка за методом виготовлення - фотохімічний. Номінальне значення діаметрів

монтажних отворів для елементів схем дорівнює 0,5 мм $d = 0,9$ мм.
Монтажних отворів для роз'єму: $d = 1,5$ мм.

Висновок до 3 розділу

В третьому розділі був зроблений опис та технічні характеристики складових елементів. Враховуючі схеми підключення елементів була побудована принципова схема.

На основі принципової схеми була побудована друкована плата. Розміри плати склали 85 x 85 мм.

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

4.1. Розробка алгоритму

Для роботи комп'ютеризованої системи для вимірювання було побудовано блок-схему алгоритму, що представлений на рис.4.1.

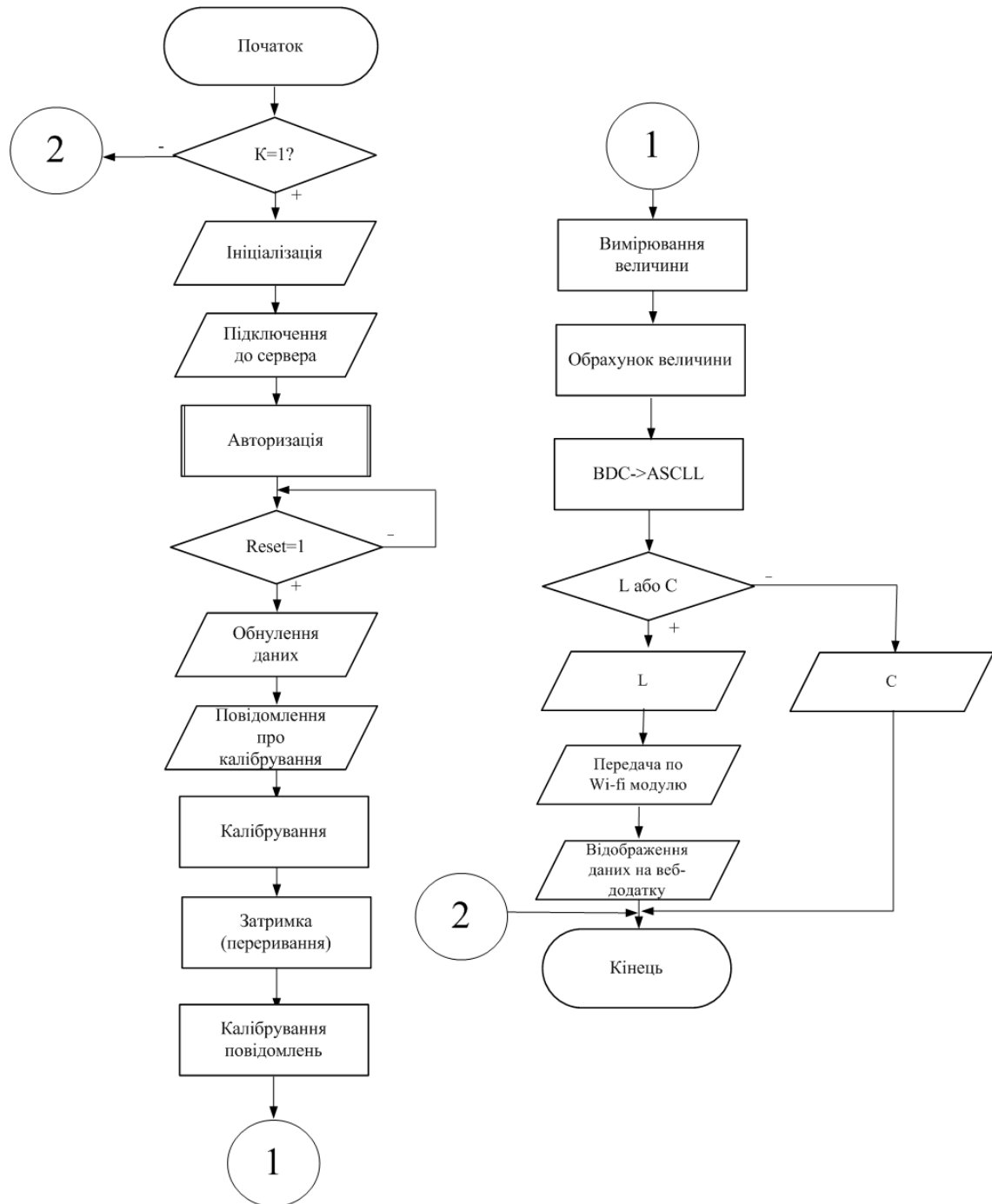


Рис.4.1.Блок-схема алгоритму

Принцип роботи системи згідно алгоритму. Початок. При ввімкненні пристрою (перемика =1), відбувається ініціалізація портів, тобто приведення портів у стан готовності.

Потім слідує підключення бібліотек основної програми, та присвоювання значення для змінних. Блок підключення до серверу виконує пошук смартфоном/планшетом/ноутбуком системи вимірювання витрат води.

Блок авторизація виконує введення паролю та підключення до серверу (система вимірювання витрат води).

Обнулення даних, вивід калібровки на екран, вимірювання калібровочної ємності. Після того йде переривання, тобто сигнал, який повідомляє мікроконтролер про настання події.

Вивід значення калібровки, вимірювання величини та її обрахунок. Конвертація коду в символи на дисплеї та вибір індуктивності або ємності.

Відображення ємності чи індуктивності на веб-додатку.

Програма зациклюється та повторюється з моменту опитування датчиків пока не відбудеться вимикання системи. Кінець.

4.2.Розробка програми для мікропроцесору

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.[20]

Текст розробленої програми представлений в Додатку А.

4.3. Розробка програми для веб-сторінки

Для створення веб-сторінки використані такі інструменти: HTML, CSS, JavaScript і JSON.

HTML і CSS застосовуються для верстки сторінки та її стилізації. Сторінка буде оформлена у вигляді табличної верстки, де в рядках таблиці відображатимуться дані про дату, температуру води та витрати води.

JavaScript використовується для створення та управління динамічним вмістом веб-сторінки.

JSON, своєю чергою, слугує для передачі структурованої інформації через мережу. Він розроблений для забезпечення обміну даними з сервером у режимі реального часу без використання додаткових плагінів, Flash-додатків або Java-апплетів. [25]

Розроблена програма для веб-сторінки представлена в Додатку Б.

Скріншоти робочої веб-сторінки в різний час роботи представлені на рис.4.2-4.6.

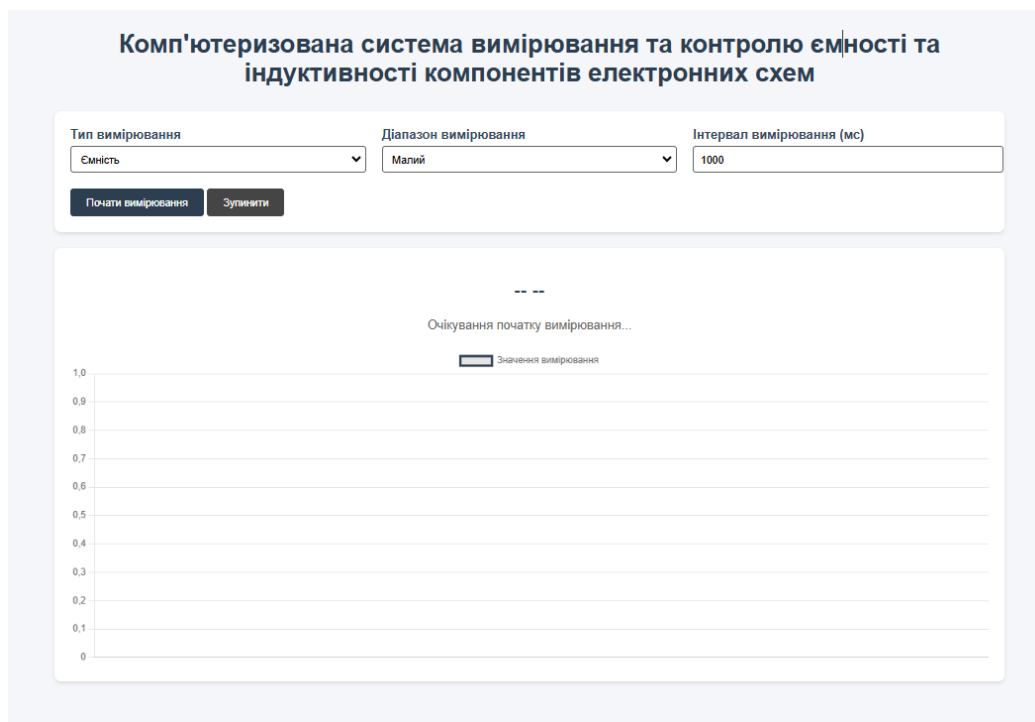


Рис.4.2. Скріншот 1 робочої веб-сторінки

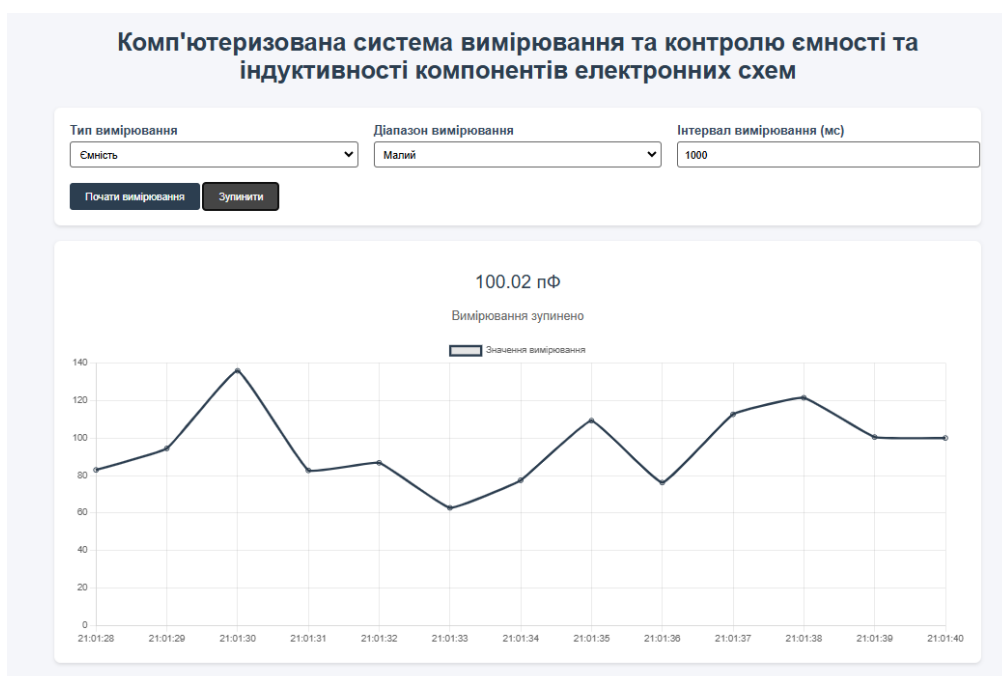


Рис.4.3. Скріншот 2 робочої веб-сторінки

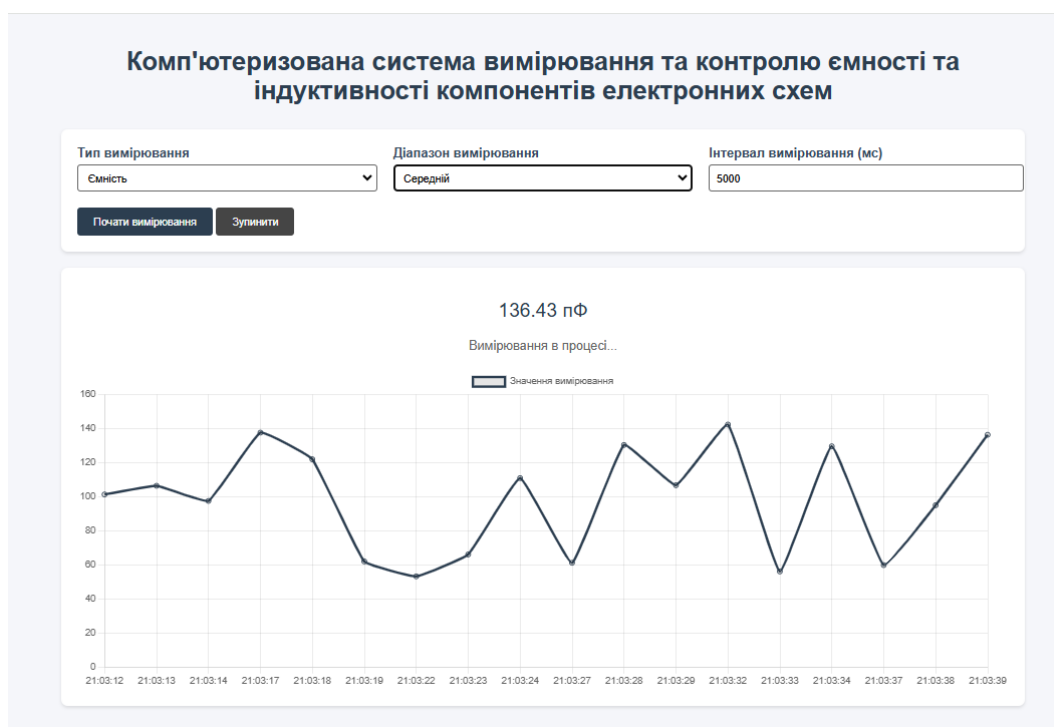


Рис.4.4. Скріншот 3 робочої веб-сторінки

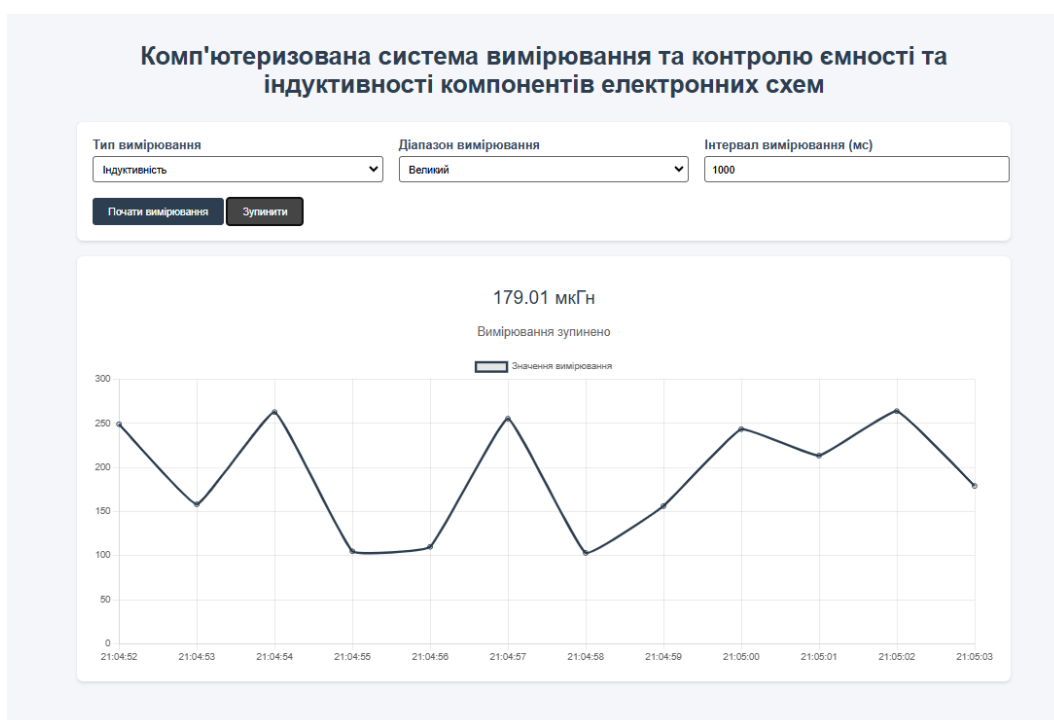


Рис.4.5. Скріншот 4 робочої веб-сторінки

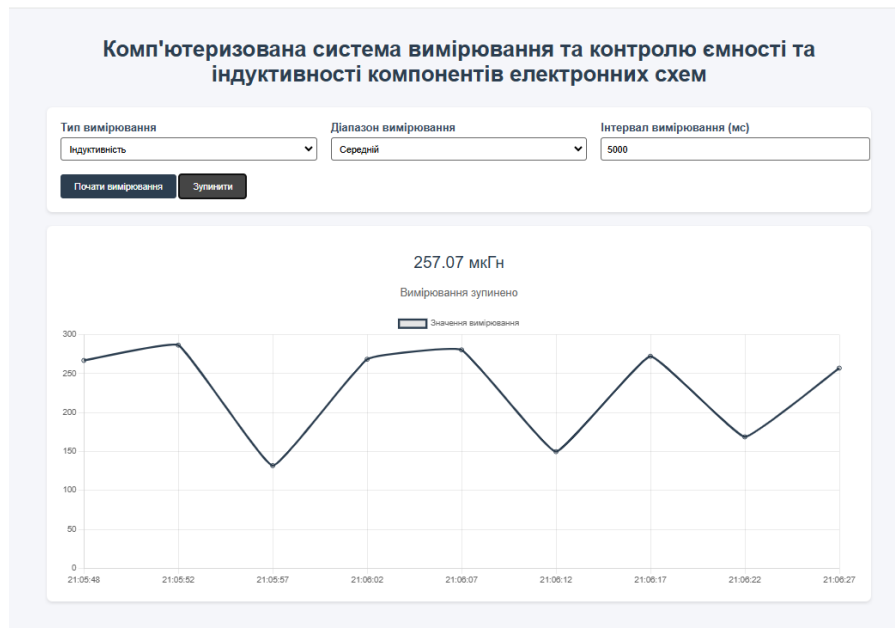


Рис.4.6. Скріншот 5 робочої веб-сторінки

Веб-інтерфейс для системи вимірювання ємності та індуктивності.
Основні функції наступні:

1. Можливість вибору типу вимірювання (ємність або індуктивність);
2. Налаштування діапазону вимірювання;
3. Регулювання інтервалу вимірювань;
4. Відображення поточного значення;
5. Графік для візуалізації вимірювань у реальному часі;
6. Кнопки для початку та зупинки вимірювань.

Особливості дизайну:

- Використана синьо-графітова кольорова схема
- Адаптивний дизайн;
- Зручний користувацький інтерфейс;
- Інтерактивний графік з можливістю перегляду історії вимірювань.

4.4. Методи програмно-алгоритмічної обробки вимірювальної інформації

За робочий день було проведено зняття показів ємності та індуктивності. Показники ємності та індуктивності зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Показники ємності та індуктивності

№	Час вимірювання	Ємність (пФ)	Індуктивність (мкГн)
1	10:00:00	47.32	156.78
2	10:00:05	47.45	156.82
3	10:00:10	47.38	156.85
4	10:00:15	47.41	156.80
5	10:00:20	47.36	156.83
6	10:00:25	47.39	156.79
7	10:00:30	47.42	156.84
8	10:00:35	47.35	156.81
9	10:00:40	47.40	156.86
10	10:00:45	47.37	156.82
11	10:00:50	47.43	156.85
12	10:00:55	47.34	156.80
13	10:01:00	47.38	156.83
14	10:01:05	47.41	156.79
15	10:01:10	47.36	156.84
16	10:01:15	47.39	156.81
17	10:01:20	47.42	156.86
18	10:01:25	47.35	156.82
19	10:01:30	47.40	156.85
20	10:01:35	47.37	156.80
Середні значення		47.4 пФ	156.8 мкГн

Графік розподілу вимірних даних представлений на рис.4.4-4.5.

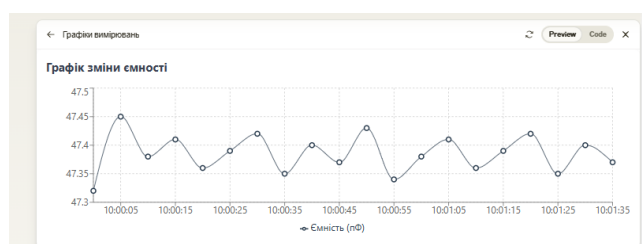


Рис.4.4. Розподіл вимірних ємностей за часом

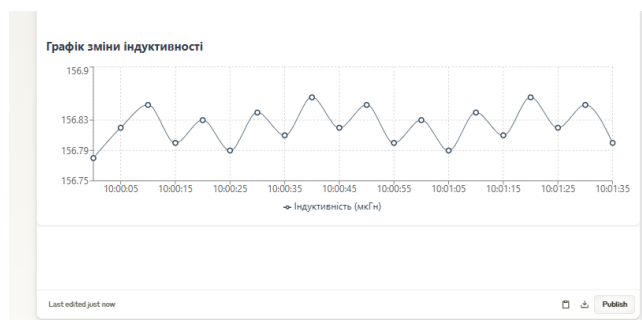


Рис.4.5. Розподіл вимірних індуктивностей за часом

Потрібно зробити обробку результатів вимірювання. Вимірювання можуть бути з помилками та грубими відхиленнями. Для автоматизації обрахунку потрібно написати програму для методів програмно-алгоритмічної вимірювальної інформації.

Для виключення грубих похибок застосовують апарат перевірки статистичних гіпотез. У метрології використовуються статистичні гіпотези, під якими розуміють гіпотези про вид невідомого розподілу, або про параметри відомих розподілів.

Областю прийняття гіпотези (областю допустимих значень) називають сукупність значення критерію, при яких гіпотезу приймають. Критичною називають сукупність значень критерію, при яких нульову гіпотезу відкидають. Область прийняття гіпотези і критична область розділені критичними точками, що дорівнюють табличним значенням критеріїв.

Нульова статистична гіпотеза підтверджує належність "підозрілого" результату вимірювання (спостереження) даній групі вимірювань, що перевіряється. Формальним критерієм аномальності результату спостережень (підставою для ухвалення конкуруючої гіпотези: "підозрілий" результат не належить даній групі вимірювань) при цьому служить межа, що відстоїть від центру розподілу на величину tS .

Таким чином, межі похибок залежать від виду розподілу, об'єму вибірки і вибраної довірчої ймовірності. При обробці вже наявних результатів спостережень довільно відкидати окремі результати не слід, оскільки це може привести до фіктивного підвищення точності результату вимірювань. Група вимірювань (вибірка) може містити декілька грубих похибок і їх виключення проводять послідовно, тобто поодинці.

Всі методи виключення грубих похибок (промахів) можуть бути розділені на два основні типи:

- а) методи виключення при відомому генеральному СКВ;
- б) методи виключення при невідомому генеральному СКВ.

Оскільки на практиці частіше зустрічаються вимірювання при

невідомому СКВ (обмежене число спостережень), далі розглянуті такі критерії перевірки підозрілих (з точки зору похибок) результатів спостережень:

1)Критерій Ірвіна – для отримання еспериментальних даних визначають коефіцієнт по формулі:

$$\lambda = \frac{(x_{n+1} - x_n)}{S} \quad (4.1)$$

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 Г (Табл. 1). Якщо $\lambda > \lambda_q$, то нульова гіпотеза не підтверджується, тобто результат – помилковий, і він має бути виключений при подальшій обробці результатів спостережень.

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

$$|x_n - \bar{x}| \geq t_p S \quad (4.2)$$

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 А (Табл. 2.). Точкові оцінки розподілу x і СКВ результатів спостережень обчислюється без урахування k_n —підозрілих результатів спостережень.

3)Критерій Діксону – заснований на припущенні, що похибки вимірювань мають нормальний закон розподілу (заздалегідь необхідна побудова гістограми результатів спостережень і перевірка гіпотези про приналежність нормальному закону розподілу). 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.

Також для обчислень цих критеріїв вибірки потрібно обрахувати середнє арифметичне значення, середнє квадратичне значення, медіану.

Визначення середньо арифметичного значення результатів багатократних вимірювань фізичної величини обраховується за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i \quad (4.3)$$

Визначення середньгеометричного значення результатів багатократних вимірювань фізичної велечини обраховується за формулою:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} \quad (4.4)$$

Визначення значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної велечини, так як масив має парне число значень, формула для знаходження медіани обраховується за формулою:

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} \quad (4.5)$$

Відносно оцінки фізичної велечини знаходимо значення незміщеної оцінки дисперсії сукупності спостережених значень. Знаходження дісперсії обраховується за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum i(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4.6)$$

Знаходимо незміщену оцінку середньоквадратичного відхилення середнього значення. Знаходження середньоквадратичного відхилення

середнього значення обраховується за формулою:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{20}} \quad (4.7)$$

Для обрахунку виміряних значень була створена програма Додаток Б.

Проведемо експеримент з вибіркою в 20 значень ємності та отримаємо відповідні дані табл.4.2.

Вибірка X1:

X1 = [47.32, 47.45, 47.38, 47.41, 45.36, 47.39, 47.42, 45.35, 47.40, 47.37, 47.43, 47.34, 47.38, 47.41, 47.36, 47.39, 47.42, 45.35, 47.40, 47.37];

Середньоарифметичного значення результатів багатократних вимірювань ємності для вибірки X1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = 47.085.$$

Середньо геометричного значення результатів багатократних вимірювань ємності для вибірки X1:

$$G(x) = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n x_j} = 47.079.$$

Значення медіани результатів багатократних вимірювань фізичної величини ємності для вибірки X1:

$$M = \frac{x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}}{2} = 47.385.$$

Оцінки випадкової величини наступні:

Оцінка дисперсії: 0.747.

Середньоквадратичного відхилення середнього значення: 0.167.

Висновок: значення не перевищують допустимий діапазон.

Визначаємо закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X1 рис.4.2.

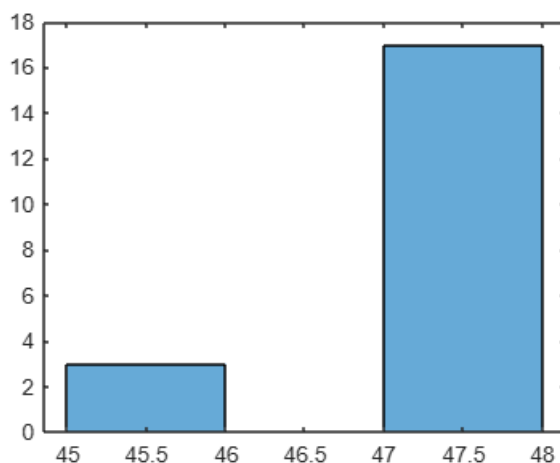


Рис.4.2. Закон розподілу результатів вимірювань на основі побудови гістограми для вибірки X_1

Виконуємо перевірку на наявність грубих помилок за критерієм Ірвіна, для цього визначаємо коефіцієнти по формулі (4.1).

Таблиця 4.2. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм Ірвіна

N	X_1	Похибка
1	47.32	Відсутня
2	47.45	Відсутня
3	47.38	Відсутня
4	47.41	Відсутня
5	45.36	Присутня
6	47.39	Присутня
7	47.42	Відсутня
8	45.35	Присутня
9	47.40	Присутня
10	47.37	Відсутня
11	47.43	Відсутня
12	47.34	Відсутня
13	47.38	Відсутня
14	47.41	Відсутня
15	47.36	Відсутня
16	47.39	Відсутня
17	47.42	Відсутня
18	45.35	Присутня
19	47.40	Присутня
20	47.37	Відсутня

Як бачимо з результатів обчислення, декілька результатів вимірювання вважається помилковим 45.36, 47.39, 45.35, 47.40, 45.35, 47.40, тому їх потрібно виключити при подальшій обробці результатів спостережень.

За критерієм Романовського обрахуємо помилки табл.4.3.

Таблиця 4.3. Обрахунок наявності похибки у вибірці за критерієм

<i>N</i>	<i>X₁</i>	Похибка
1	47.32	Відсутня
2	47.45	Відсутня
3	47.38	Відсутня
4	47.41	Відсутня
5	45.36	Присутня
6	47.39	Відсутня
7	47.42	Відсутня
8	45.35	Присутня
9	47.40	Відсутня
10	47.37	Відсутня
11	47.43	Відсутня
12	47.34	Відсутня
13	47.38	Відсутня
14	47.41	Відсутня
15	47.36	Відсутня
16	47.39	Відсутня
17	47.42	Відсутня
18	45.35	Присутня
19	47.40	Відсутня
20	47.37	Відсутня

За обрахунками значення з грубою помилкою виявилися значення 45.36, 45.35, 45.35, при подальшій роботі з вибіркою потрібно виключити ці значення.

Оцінки елімінованого масиву за критерієм Діксона.

Середнє значення: 47.085.

Допустимий діапазон: 47.085 $\pm$ 0.291.

Висновки до 4 розділу

В четвертому розділі був розроблений алгоритм та програма для системи, була розроблена веб-сторінка та програма для оцінки вимірних значень ємності.

Була створена веб-сторінка для відображення показів вимірних ємності та індуктивності в залежності від часу. Інтерфейс дозволяє обрати вимірювання показників: ємності чи індуктивності, діапазон вимірювання та інтервал вимірювання. На сайті також можна побачити графічно зміну вимірних показників, почати чи зупинити вимірювання.

Був проведений експеримент з вибіркою в 20 вимірних значень ємності чи індуктивності. Були побудовані графіки розподілу показників ємності та індуктивності. Для оцінки вибірки була створена програма. Обраховано середнє значення, медіана, середнє квадратичне значення, дисперсія. Вимірні дані оцінені за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона. За вимірними критеріями програма визначила, що є не припустимі значення.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено комп'ютеризовану систему для вимірювань та контролю ємності та індуктивності компонентів електронних схем.

У першому розділі проведено аналіз існуючих систем вимірювання ємності та індуктивності. До переваг таких приладів можна віднести: універсальність, портативність та компактність, простота використання, відносно низька вартість, швидкі вимірювання базових параметрів, автоматичний вибір діапазону в сучасних моделях, наявність додаткових функцій. До недоліків таких приладів можна віднести: обмежена точність вимірювань ємності та індуктивності, неможливість вимірювання високочастотних параметрів, обмежений діапазон вимірювань, відсутність можливості вимірювання добротності та ESR, чутливість до завад, неможливість детального аналізу компонентів, обмежені функції для професійної діагностики.

Також розглянуті методи вимірювання ємності та індуктивності. До таких методів можна віднести: вольтметра-амперметра, безпосередньої оцінки, мостовий, резонансний, дискретного відліку.

Для розробки вимірювальної системи витрат води обрано резонансний метод вимірювання.

В другому розділі був обґрунтований вибір кожного елемента структурної схеми. Розглянуті визначення складових та їх основні типи. На базі обраних складових побудована структурна схема.

В третьому розділі був зроблений опис та технічні характеристики складових елементів. Враховуючі схеми підключення елементів була побудована принципова схема.

На основі принципової схеми була побудована друкована плата. Розміри плати склали 85 x 85 мм.

В четвертому розділі був розроблений алгоритм та програма для системи, була розроблена веб-сторінка та програма для оцінки вимірних значень ємності.

Була створена веб-сторінка для відображення показів вимірних ємності та індуктивності в залежності від часу. Інтерфейс дозволяє обрати вимірювання показників: ємності чи індуктивності, діапазон вимірювання та інтервал вимірювання. На сайті також можна побачити графічно зміну вимірних показників, почати чи зупинити вимірювання.

Був проведений експеримент з вибіркою в 20 вимірних значень ємності чи індуктивності. Були побудовані графіки розподілу показників ємності та індуктивності. Для оцінки вибірки була створена програма. Обраховано середнє значення, медіана, середнє квадратичне значення, дисперсія. Вимірні дані оцінені за критеріями Ірвіна, Романовського та Діксона. За вимірними критеріями програма визначила, що є не припустимі значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. LC-200A 1pF-100mF 1uH-100H високоточний вимірювач ємності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://altersvet.com.ua/ua/p2330788238-200a-1pf-100mf.html>.
2. Високоточний цифровий мультиметр UNIT UT39C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vikir.com.ua/multimetr-cifroviy-unit-ut39c-visokotochniy-tester-vimryuvach-innost-unit-ut39c>.
3. Мультиметр цифровий з True RMS PROTESTER PM18C [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://protester.com.ua/pm18c>.
4. Мультиметр Aneng M119 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://rozetka.com.ua/aneng-yt32086/p409260345>.
5. Грищук Ю.С. Мікропроцесорні пристрої: Навчальний посібник. – Харків: НТУ, «ХП», 2007. 280с.
6. Як працює Wi-Fi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plenet.com.ua/?p=1036>.
7. What is Smart LCD and Its Smart Lcd Benefits Available [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://businessmag.com.au/what-is-smart-lcd-and-its-benefits>.
8. Кнопки, перемикачі, тумблери [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gsm-komplekt.ua/category/knopki-pereklyuchateli-tumblery>.
9. Реле [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/B5#cite_note-SSR-3.
10. Смагін А. Г., Ярославський М. І. П'єзоелектрика кварцу та кварцові резонатори. - М.: "Енергія", 1970. - 488 с. - 6000 прим.
11. Кнопка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://calvarybaptisthsv.org/w/klavishi>.
12. Акумулятор [Електронний ресурс]. – <https://autoglim.ru/uk/the-ignition-system-of-the-car/akkumulyatornye-batarei-vidy-i-ustroistvo-primenenie-vazhnoe-o-vazhnom>.

13. Pic16f1936 Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/41364E.pdf>.

14. Стабілізатор напруги LM7805 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: info@arduino.ua.

15. Дисплей WH1602B [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.winstar.com.tw/ru/products/character-lcd-display-module/lcd-display-16x2.html>.

16. Реле G2RL-24-DC5 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.farnell.com/omron/g2rl-24-5dc-by-omb/relay-dpdt-240vac-30vdc-1-5a/dp/2065814>.

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

18. Катушка індуктивності B82477 G4823M [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.chipdip.ru/product/b82477g4823m>.

19. Т.М.Демків, О.І.Конопельник, Я.І.Шопа. Основи теорії похибок фізичних величин. – центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008.

20. Прошивка PIC мікроконтролерів з "нуля" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crashbox.ru/installation-and-configuration/programirovanie-pik-kontrollerov-na-yazyke-si-proshivka-pic>.

21. JSON: The Fat-Free Alternative to XML [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.json.org/fatfree.html>.