

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»**

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма: «Обслуговування

комп'ютерних систем і мереж»

Група: 4КС-58

Дипломний проект

**здобувача освіти денної форми навчання
КС.58.01.000.ДП**

БИЧЕНКА

ІЛІІ ВАЛЕНТИНОВИЧА

**м. Одеса
2025 р.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма: «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж»

Група: 4КС-58

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту на тему:

Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

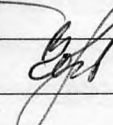
Проектний матеріал складається з пояснювальної записки на 84 сторінках та графічного (презентаційного) матеріалу на 16 аркушах (слайдах)


Дипломник  (Биченко І.В.)

Керівник  (Кривченко А.А.)

Консультанти:

з економічного розділу  (Канський М.Ю.)

з розділу охорони праці та техніки безпеки  (Чорновол Н.І.)

з нормоконтролю  (Петрашова В.І.)

старший консультант  (Кривченко Ю.В.)

До захисту допущений


Голова циклової комісії  (Кривченко Ю.В.)

Завідувач відділення  (Краснокутська К.Г.)

Захист «21» червня 2025 р.

Протокол ЕК № 2

Оцінка ЕК 5 (відмінно) / 90б.

Секретар ЕК 

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Відділення комп'ютерних систем Комісія КТ та ПІ
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітньо-професійна програма «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заст. дир. з НВР 

Беркань І.В.

“ 19 ” 08 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект

Здобувачеві (здобувачці) освіти Биченку Іллі Валентиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

затверджена наказом по коледжу від “14” 11 2024 р. № 246


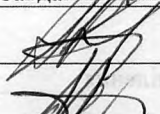
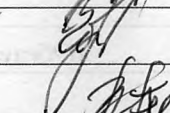
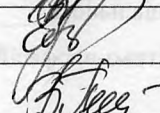
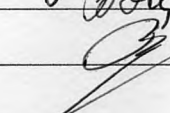
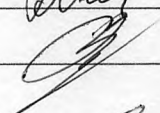
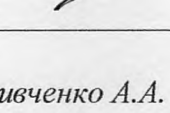
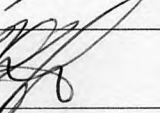
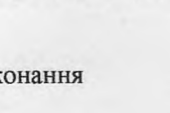
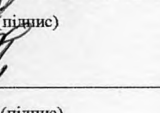
2. Термін здачі закінченого проекту 16.06.25

3. Вихідні данні до проекту (роботи) 1. Передбачити тестування конденсаторів з вимірюванням їх ємності; 2. Забезпечити межі вимірювання ємності від десятих частин пФ до тисяч мкФ; 3. Забезпечити точність вимірювання ємності з погрешністю не більше 5%; 4. Розробку виконати на базі PIC-мікроконтролеру; 5. Передбачити живлення від акумуляторної батареї та найменший струм споживання; 6. Розробити макет друкованої плати пристрою найменших розмірів з використанням САПР.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)
Аналіз побудови цифрових вимірювальних приладів; Застосування методики визначення ємності; Розробка структурної та функціональної схеми тестеру; Вибір елементної бази; Реалізація принципової електричної схеми та моделі друкованої плати; Розробка блок-схеми алгоритму та програми для мікроконтролера; Налаштування пристрою для вимірювання ємності; Інструкція користувача тестеру ємності конденсаторів

5. Перелік графічного (презентаційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількості слайдів)
Функціональна схема цифрового вимірювального приладу; Схеми еквівалентного включення і параметрів ємності; Структурна схема тестеру ємності електричних конденсаторів; Модульна схема тестеру ємності електричних конденсаторів; Функціональна схема тестеру ємності електричних конденсаторів; Принципова електрична схема тестеру конденсаторів; Модель друкованої плати та монтажної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів; БСА роботи мікроконтролера тестеру; Експеримент з вимірювання ємності конденсаторів

6. Консультанти по проекту (роботі), із зазначенням розділів проекту, що їх стосується

| Розділ | Консультант | Підпис, дата | |
|----------------------|----------------|---|---|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| Основний розділ | Кривченко А.А. |  |  |
| Економічний розділ | Канський М.Ю. |  |  |
| Розділ охорони праці | Чорновол Н.І. |  |  |
| Нормоконтроль | Петрашова В.І. |  |  |
| Старший консультант | Кривченко Ю.В. |  |  |

7. Дата видачі завдання _____

Керівник

Кривченко А.А.

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/р | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Термін виконання етапів дипломного проекту (роботи) | Відмітка виконан |
|-------|--|---|------------------|
| 1. | Вступ. Постановка задачі проектування | 23.05.25 | Викон |
| 2. | Огляд та аналіз тестерів для вимірювання ємності | 24.05.25 | Викон |
| 3. | Аналіз технічних вимог до спроектованого пристрою | 26.05.25 | Викон |
| 4. | Аналіз принципів роботи приладів вимірювання параметрів радіоелементів | 28.05.25 | Викон |
| 5. | Аналіз особливостей побудови ЦВП | 01.06.25 | Викон |
| 6. | Визначення технічних засобів розробки цифрового вимірювального приладу | 03.06.25 | Викон |
| 7. | Розробка структурної та функціональної схеми приладу | 04.06.25 | Викон |
| 8. | Розробка принципової електричної схеми приладу | 05.06.25 | Викон |
| 9. | Вибір елементної бази пристрою | 06.06.25 | Викон |
| 10. | Розробка друкованої плати пристрою | 07.06.25 | Викон |
| 11. | Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера | 08.06.25 | Викон |
| 12. | Виконання економічних розрахунків | 09.06.25 | Викон |
| 13. | Розробка заходів з охорони праці | 10.06.25 | Викон |
| 14. | Виконання графічної частини проекту | 12.06.25 | Викон |

Дипломник

(підпис)

Керівник

(підпис)

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 6 |
| 1 Основний розділ..... | 7 |
| 1.1 Аналіз побудови цифрових вимірювальних приладів..... | 7 |
| 1.2 Аналітичний огляд тестерів ємності електричних конденсаторів..... | 9 |
| 1.2.1 Вимірювач ємності конденсаторів Mastech MS5308..... | 9 |
| 1.2.2 Вимірювач ємності DER EE DE-5000..... | 10 |
| 1.3 Визначення основних параметрів конденсаторів..... | 13 |
| 1.3.1 Основні параметри, які характеризують конденсатори..... | 13 |
| 1.3.2 Вимірювання та похибка..... | 13 |
| 1.3.3 Втрати енергії..... | 13 |
| 1.3.4 Кут втрат..... | 14 |
| 1.3.5 Вплив частоти на втрати..... | 14 |
| 1.3.6 Вплив зовнішніх умов..... | 15 |
| 1.3.7 Простий тест конденсаторів..... | 15 |
| 1.3.8 Перевірка витоку..... | 15 |
| 1.3.9 Еквівалентний послідовний опір (ESR)..... | 15 |
| 1.3.10 Діелектричні втрати..... | 16 |
| 1.3.11 Вплив температури на ESR..... | 16 |
| 1.3.12 Перевірка конденсаторів..... | 16 |
| 1.4 Застосування методики визначення ємності та ESR..... | 16 |
| 1.5 Аналіз схемотехніки приладів визначення ємності та ESR..... | 20 |
| 1.5.1 Тестер конденсаторів на базі мікроконтролера ATmega-16..... | 20 |
| 1.5.2 Тестер конденсаторів на базі мікроконтролера ATmega-8..... | 22 |
| 1.5.3 Тестер конденсаторів на PIC-мікроконтролері..... | 22 |
| 1.6 Постановка задачі проектування..... | 25 |
| 1.7 Розробка структурної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері..... | 26 |
| 1.8 Розробка функціональної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері..... | 31 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.9 | Вибір та аналіз мікросхем для схеми тестера ємності електричних конденсаторів..... | 33 |
| 1.9.1 | Вибір мікросхеми-мікроконтролеру пристрою..... | 34 |
| 1.9.2 | Вибір мікросхеми-компаратору..... | 36 |
| 1.9.3 | Вибір мікросхеми-комутатору..... | 38 |
| 1.9.4 | Вибір мікросхеми прескалера (програмованого дільника частоти)..... | 40 |
| 1.9.5 | Вибір мікросхеми стабілізатора напруги..... | 41 |
| 1.9.6 | Вибір LCD-дисплею..... | 42 |
| 1.10 | Обґрунтування вимог до елементної бази тестеру..... | 44 |
| 1.11 | Обґрунтування вимог до елементної бази тестеру..... | 48 |
| 1.12 | Розробка блок-схеми алгоритму та програми для мікроконтролера..... | 50 |
| 1.13 | Інструкція користувача тестеру ємності конденсаторів..... | 58 |
| 1.13.1 | Режим самокалібрування тестеру..... | 58 |
| 1.13.2 | Режим вимірювання ємності “Сх”..... | 59 |
| 1.13.3 | Режим налаштування констант тестеру..... | 59 |
| 2 | Економічний розділ..... | 61 |
| 3 | Розділ охорони праці та техніки безпеки..... | 66 |
| 3.1 | Аналіз шкідливих та ризикових факторів..... | 66 |
| 3.2 | Гігієнічні вимоги до виробничого середовища..... | 66 |
| 3.3 | Вимоги до організації робочого місця працівника..... | 67 |
| 3.4 | Електробезпека..... | 68 |
| 3.5 | Пожежна безпека..... | 70 |
| | Висновки..... | 71 |
| | Перелік використаних інформаційних джерел..... | 72 |
| | Додаток А. Код програми мовою С для мікроконтролера..... | 73 |
| | Додаток Б. Слайди мультимедійної презентації..... | 77 |

ВСТУП

У сучасній вимірювальній техніці актуальним є розробка спеціалізованих тестерів, які дозволяють проводити випробування та контроль працездатності електронних компонентів. Одним із таких приладів є тестер ємності конденсаторів на базі мікроконтролера. Цей прилад дозволяє точно вимірювати ємність конденсаторів, що є важливим для діагностики та налаштування електронних схем. Цифрові вимірювальні прилади забезпечують точність, швидкодію та зручність використання завдяки автоматизації процесів квантування, кодування і подання результатів у цифровій формі. Високі показники точності і швидкості, а також можливість реєстрації даних за допомогою комп'ютера роблять ці прилади незамінними у електроніці. Незважаючи на складність конструкції і високу вартість, ці недоліки зменшуються завдяки розвитку мікроелектронної бази.

Мета цього дипломного проекту – розробка цифрового тестеру ємності електричних конденсаторів на базі мікроконтролера. Прилад буде використовуватись для визначення ємності конденсаторів у різних електронних схемах. Тестер повинен мати достатню точність вимірювання з погрішністю біля 5%, високу швидкість реакції та можливість збереження результатів у цифровій формі для подальшого аналізу. Завдяки використанню сучасних мікроконтролерів, прилад буде компактним та економічно вигідним, що дозволить застосовувати його як у польових, так і в домашніх умовах. Крім того, можливість інтеграції з комп'ютерними системами відкриває нові горизонти для автоматизації процесів вимірювань та аналізу результатів.

Цей проект безпосередньо пов'язаний з програмою навчання "Обслуговування комп'ютерних систем і мереж", оскільки включає розробку електронного пристрою з використанням сучасних програмних та апаратних засобів. Проект вимагає глибокого розуміння роботи мікроконтролерів, схемотехніки, програмування та використання САПР для розробки друкованих плат. Це робить проект важливим практичним досвідом для студентів спеціальності 123, дозволяючи їм розвивати навички, необхідні для професійної діяльності у галузі обслуговування комп'ютерних систем і мереж.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз побудови цифрових вимірювальних приладів

Незважаючи на конструктивні та схемні особливості, принцип побудови цифрових електричних вимірювальних приладів відповідає структурній схемі, представленої на рис. 1.1. Згідно з рис. 1.1, величина, що вимірюється, передається на вхідний блок приладу (ВП), де відбувається її масштабне перетворення. Далі сигнал з цього блока потрапляє на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який переводить аналоговий сигнал у відповідний цифровий код, що показується у вигляді числового значення на цифровому відліковому пристрої (ЦВП). Для генерування всіх керуючих сигналів прилад містить пристрій керування (ПК) (на рис. 1.1 не зображено). Вхідний блок цифрового приладу схожий на електронний прилад, а у деяких моделях на вході встановлюється фільтр для усунення перешкод.



Рисунок 1.1. Загальна структурна схема цифрових вимірювальних приладів

На рис. 1.2 подана функціональна схема ЦВП. Основними компонентами ЦВП є: вхідний аналоговий перетворювач (ВАП), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) або компаратор, обчислювальний блок (ОБ), цифровий відліковий пристрій (ЦВП) та пристрій керування (ПК). Початкова величина $x(t)$ спочатку перетворюється за допомогою ВАП на іншу величину $x'(t)$, яка є зручнішою для подальшого аналого-цифрового перетворення. АЦП або компаратор переводить величину $x'(t)$ у цифровий код N , який або потрапляє безпосередньо на цифровий відліковий пристрій ЦВП, або обробляється у обчислювальному блоці (ОБ). Цифровий відліковий пристрій має дешифратор для переведення вихідного цифрового коду АЦП або ОБ у десятковий цифровий код і екран для індикації результату вимірювання. Вихідний цифровий код АЦП або ОБ може бути переданий на цифровий реєструвальний пристрій або порт комп'ютера і використовуватись у системах керування об'єктами.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

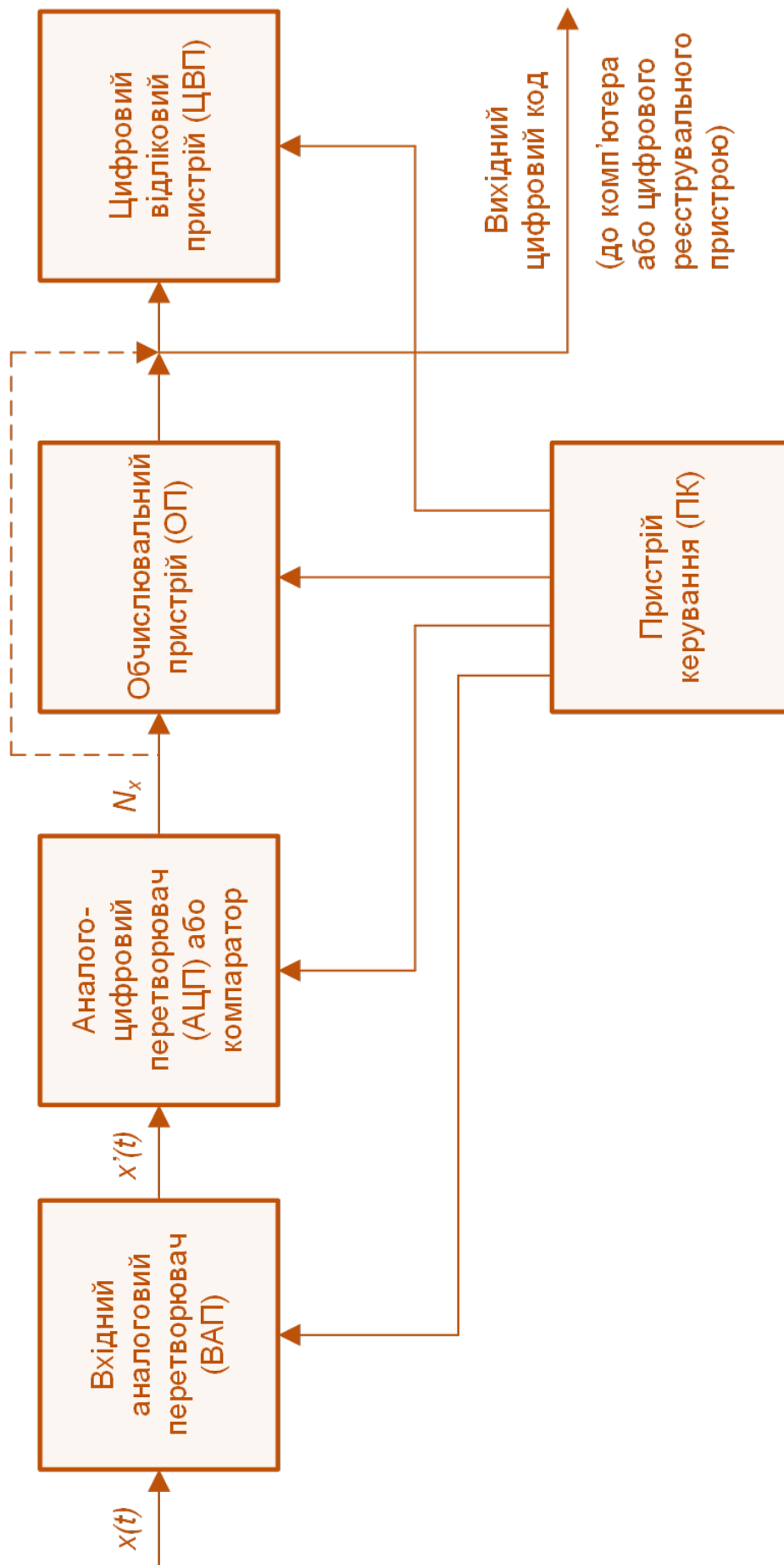


Рисунок 1.2. Спрощена функціональна схема ЦВП

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ

Арк.

8

Роботу всіх компонентів ЦВП координує пристрій керування (ПК).

Цифрові вимірювальні прилади класифікуються за принципом аналого-цифрового перетворення (АЦП) на прилади прямого перетворення і компенсаційні (з врівноважувальним перетворенням). Кожен тип має свої переваги та обмеження, що визначають сфери їх застосування у різних вимірювальних системах.

1.2 Аналітичний огляд тестерів ємності електричних конденсаторів

1.2.1 Вимірювач ємності конденсаторів Mastech MS5308

Тестер Mastech MS5308 (рис.1.3) є універсальним багатофункціональним приладом для вимірювання параметрів електронних компонентів. Прилад оснащений автоматичним вибором меж вимірювання, що забезпечує простоту використання та високу точність роботи.



Рисунок 1.3. Зовнішній вигляд тестеру Mastech MS5308

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Можливості тестеру Mastech MS5308:

- Вимірювання ємності, індуктивності та опору;
- Автоматичний та ручний вибір меж вимірювання;
- Вбудований РК-дисплей для відображення результатів вимірювань;
- Захист від перенавантаження;
- Компактний та легкий дизайн.

Технічні характеристики тестеру Mastech MS5308:

- Діапазон вимірювання ємності: від 0,1 пФ до 20000 мкФ;
- Діапазон вимірювання індуктивності: від 0,01 мкГн до 2000 Гн;
- Діапазон вимірювання опору: від 0,01 Ом до 20 МОм;
- Погрішність вимірювань: $\pm(0,5\% + 5)$.

Сфера використання: Mastech MS5308 використовується для тестування і калібрування електронних схем та компонентів, включаючи електролітичні та керамічні конденсатори. Прилад ідеально підходить для використання в лабораторіях, на виробництві та в навчальних закладах.

Органи керування тестеру Mastech MS5308:

- Поворотний перемикач для вибору меж вимірювання;
- Кнопки для встановлення режимів роботи та калібрування;
- РК-дисплей для відображення результатів.

1.2.2 Вимірювач ємності DER EE DE-5000

DER EE DE-5000 (рис.1.4) – це високоточний портативний вимірювач ємності, що дозволяє проводити вимірювання з високою точністю та надійністю. Прилад підтримує декілька частот вимірювального сигналу, що дозволяє адаптувати його до різних умов тестування.

Можливості вимірювачу ємності DER EE DE-5000:

- Вимірювання ємності, індуктивності, опору, добротності та тангенса втрат;
- Вибір частоти вимірювального сигналу;
- Автоматичний та ручний вибір меж вимірювання;
- Вбудований РК-дисплей для відображення результатів вимірювань.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 1.4. Зовнішній вигляд тестеру DER EE DE-5000

Технічні характеристики вимірювачу ємності DER EE DE-5000:

- Діапазон вимірювання ємності: від 0,01 пФ до 20000 мкФ;
- Діапазон вимірювання індуктивності: від 0,1 мкГн до 2000 Гн;
- Діапазон вимірювання опору: від 0,01 Ом до 200 МОм;
- Погрішність вимірювань: $\pm(0,2\% + 2)$.

Сфера використання: DER EE DE-5000 підходить для професійного використання в області електроніки, ремонту електронного обладнання та діагностики електронних схем. Прилад також використовується у наукових дослідженнях та навчальних закладах.

Органи керування вимірювачу ємності DER EE DE-5000:

- Кнопки для вибору меж вимірювання та частоти сигналу;
- РК-дисплей з підсвіткою для відображення результатів;
- Перемикач для вибору режимів роботи.

1.2.3 Вимірювач ємності Atlas ESR70

Atlas ESR70 (рис.1.5) є спеціалізованим тестером, призначеним для вимірювання ємності та еквівалентного серійного опору (ESR) конденсаторів.

Прилад оснащений автоматичним вибором меж вимірювання та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом.



Рисунок 1.5. Зовнішній вигляд вимірювачу ємності Atlas ESR70

Можливості вимірювача ємності Atlas ESR70:

- Вимірювання ємності та ESR;
- Автоматичний вибір меж вимірювання;
- Вбудований РК-дисплей для відображення результатів;
- Швидке та точне вимірювання;
- Захист від перенавантаження.

Технічні характеристики:

- Діапазон вимірювання ємності: від 1 пФ до 22000 мкФ;
- Діапазон вимірювання ESR: від 0,01 Ом до 20 Ом;
- Погрішність вимірювань: $\pm(1\% + 1)$.

Сфера використання: Atlas ESR70 використовується для тестування конденсаторів у різних електронних схемах, зокрема для ремонту та діагностики електронних пристроїв. Прилад також підходить для використання в навчальних лабораторіях та на виробництві.

Органи керування:

- Кнопки для вибору меж вимірювання;
- РК-дисплей для відображення результатів;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

- Інтерфейс для підключення до ПК (опціонально).

Розглянуті три прилади Mastech MS5308, DER EE DE-5000 та Atlas ESR70 демонструють широкі можливості для вимірювання ємності конденсаторів та інших параметрів електронних компонентів. Вони відрізняються високою точністю, зручністю використання та надійністю. Кожен з приладів має свої унікальні особливості та технічні характеристики, що дозволяє обрати оптимальний варіант для конкретних завдань. Можливості цих тестерів роблять їх незамінними інструментами для професійного та аматорського використання в області електроніки, ремонту та діагностики електронних пристроїв.

1.3 Визначення основних параметрів конденсаторів

1.3.1 Основні параметри, які характеризують конденсатори

Основні параметри, які характеризують конденсатори, включають їх електричну ємність, еквівалентний послідовний опір (ESR) та кут втрат. У електронних пристроях використовуються конденсатори багатьох типів та різних призначень. Значення їх ємностей зазвичай лежать у межах від 1 пФ до 1000 мкФ. У високочастотних і надвисокочастотних областях також можуть виникати дуже малі міжелектродні ємності електронних приладів і паразитні ємності між різними елементами схеми (ємності монтажу).

1.3.2 Вимірювання та похибка

Допустима похибка вимірювання ємностей конденсаторів залежить від області їх застосування. Ємність конденсаторів, що входять до складу коливальних систем, повинна визначатися з похибкою не менше 1%. Для вибору блокувальних, розділових або зв'язкових конденсаторів зазвичай допускається значний розкид ємностей (до 20-50%), і їх можна вимірювати найпростішими методами.

1.3.3 Втрати енергії

В кожному конденсаторі, що підключений до електричного кола, присутні втрати енергії, що виникають в основному в діелектрику і через недосконалість ізоляції між висновками. Еквівалентну схему конденсатора можна уявити у двох

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

варіантах: як ємність C , що підключена послідовно з опором втрат R_n (рис. 1.6 а), або як ємність C , що шунтується опором витоку R_y (рис. 1.6, б).

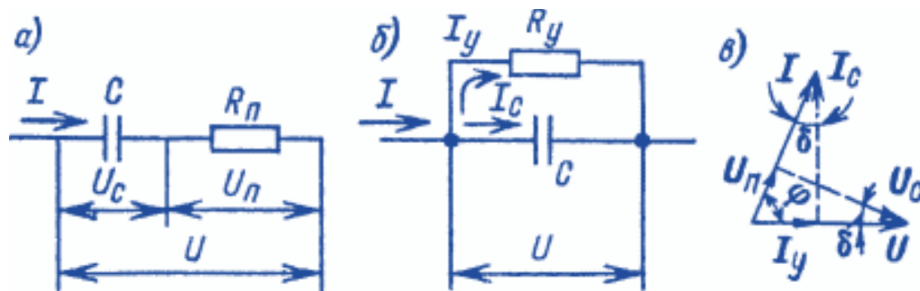


Рисунок 1.6. Схеми еквівалентного увімкнення (а і б) та діаграма (в) електричного ланцюга з ємністю

Для переходу від однієї еквівалентної схеми до іншої використовується формула:

$$R_y = \frac{1}{(2\pi f C)^2 R_p}, \quad (1.1)$$

де f – частота струму в колі конденсатора.

1.3.4 Кут втрат

З векторної діаграми на рис. 1.6, в, яка справедлива для обох варіантів еквівалентних схем, слідує, що фазовий зсув φ між струмом I і напругою U завжди менший 90° через втрати в конденсаторі. Кут втрат $\delta = 90^\circ - \varphi$ визначається формулою:

$$\tan \delta = \frac{U_p}{U_c} = \frac{I_y}{I_c} = 2\pi f C R_p = \frac{1}{2\pi f C R_y} \quad (1.2)$$

Втрати в конденсаторі також можуть виражатися коефіцієнтом потужності $\cos \varphi$ або струмом витоку I_y , визначеними за стандартних умов. Для більшості конденсаторів втрати дуже малі ($\tan \delta < 0,001$), тому можна вважати:

$$\tan \delta \approx \delta \approx \sin \delta = \sin(90^\circ - \varphi) = \cos \varphi \quad (1.3)$$

1.3.5 Вплив частоти на втрати

Найбільші втрати спостерігаються в електролітичних і паперових конденсаторах, які переважно застосовуються на низьких частотах. З підвищенням частоти втрати помітно зростають через збільшення значення R_n і зменшення R_y , тоді як ємність C практично не залежить від частоти. На дуже

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

високих частотах можливо помітне зростання вимірної ємності конденсаторів через вплив індуктивності обкладок і підвідних проводів.

1.3.6 Вплив зовнішніх умов

Параметри конденсатора (C , R_n , R_y , δ) залежать від зовнішніх умов роботи – температури, вологості, атмосферного тиску та прикладеної напруги. Тому конденсатори тестують не лише на робочих частотах, але й у умовах, близьких до експлуатаційних.

1.3.7 Простий тест конденсаторів

Конденсатори можна тестувати і без спеціальних вимірювальних приладів. За допомогою омметра легко виявити пошкодження електричним струмом або пробою між обкладинками конденсатора. Перевірка на обрив неелектролітичних конденсаторів ємністю від 0,01 мкФ і більше проводиться включенням конденсатора в ланцюг змінного струму, послідовно з будь-яким навантаженням. Нормальне або трохи ослаблене світіння лампи буде свідчити про відсутність обриву.

1.3.8 Перевірка витоку

Конденсатор, що має великий опір витоку, здатний утримувати заряд протягом тривалого часу. Це дозволяє оцінити якість конденсаторів ємністю понад 0,01 мкФ. Підключення омметра до такого конденсатора викликає відхилення стрілки приладу через струм заряду. При великому опорі витоку стрілка повернеться у вихідне положення. Короткочасні підключення омметра не повинні викликати відхилення стрілки при великому опорі витоку.

1.3.9 Еквівалентний послідовний опір (ESR)

Еквівалентний послідовний опір (ESR) є одним із параметрів конденсатора, що характеризує його активні втрати в колі змінного струму. ESR можна уявити як резистор, включений послідовно з конденсатором, опір якого визначається діелектричними втратами, а також опором обкладок, внутрішніх контактних з'єднань і висновків.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.3.10 Діелектричні втрати

Втрати в діелектрику викликані особливостями його поляризації і складають основну частину втрат в конденсаторі. Частинки діелектрика під впливом змінного електричного поля змушені здійснювати механічні коливання, що супроводжуються виділенням тепла та втратами енергії.

1.3.11 Вплив температури на ESR

Активний опір електроліту в електролітичних конденсаторах зазвичай залежить від температури. Під час роботи діелектрик і електроліт нагріваються змінним струмом, що зменшує ESR конденсатора, але при перегріванні електроліт втрачає свої властивості, що погіршує рухливість іонів і підвищує активний опір.

1.3.12 Перевірка конденсаторів

Несправні конденсатори, у яких кипів електроліт, зазвичай мають роздуті та розгерметизовані корпуси. Для надійної роботи електролітичних конденсаторів важливо правильно вибирати їх тип, номінал і максимальну напругу залежно від умов експлуатації. Виробники випускають спеціальні конденсатори з низьким ESR для фільтрів випрямлячів у перетворювачах.

Більшість простих ESR-пробників і тестерів базується на принципі вимірювання імпедансу. Вони мають низькоомний вхід, що дозволяє перевіряти конденсатори, не випаюючи їх з плати. Поряд з погіршенням якості електроліту, активний опір в конденсаторах також зростає через погіршення контактів обкладок з висновками.

1.4 Застосування методики визначення ємності та ESR

Наряду з ємністю еквівалентний послідовний опір (ESR) є одним з важливих паразитних параметрів електролітичних конденсаторів, який останніми роками став дуже популярним серед ремонтників електронної техніки. Вимірювачі та пробники ESR стали важливими інструментами, такими ж необхідними, як тестери або мультиметри.

Збільшення ESR конденсатора на кілька Ом, а іноді й на кілька десятків часток Ом, може призвести до несправності пристрою, де він використовується.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Це важко виявити за допомогою існуючих вимірювачів ємності, які не враховують інші параметри конденсатора.

У практиці ремонту зазвичай не потрібна висока точність вимірювань ESR, тому допустима похибка пробників частіше не викликає занепокоєння при виявленні несправних елементів. Оцінка стану конденсатора пробником може зводитись до визначення його придатності або непридатності для роботи в конкретному вузлі пристрою.

Однак для конденсаторів, які працюють у режимах з великими імпульсними струмами, наприклад, у фільтрах перетворювачів, необхідна більш точна оцінка якості. В таких випадках похибка в десятки чи навіть соті частки Ом може мати значний вплив.

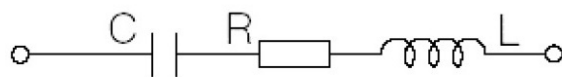
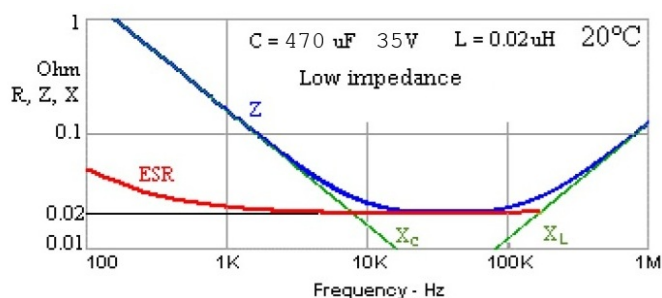


Рисунок 1.7. Схеми еквівалентного включення і параметрів ємності

На рис. 1.7 можна побачити, що в діапазоні робочих частот перетворювачів (десятки кГц) реактивний опір конденсатора великої ємності та паразитний індуктивний опір у послідовному ланцюзі є значно меншими порівняно з ESR і загальним імпедансом. Таким чином, практично весь струм, що може досягати десятків ампер у імпульсі, буде розсіювати активну потужність на опорі (ESR), що призводить до нагрівання діелектрика та електроліту конденсатора.

Тангенс кута втрат, зазначений у технічній документації виробників електролітичних конденсаторів для частоти 120 Гц (типове значення 0.1÷0.2), не є актуальним на робочих частотах перетворювачів і для конденсаторів у фільтрах їх вторинних випрямлячів буде значно більшим.

Для роботи в таких режимах виробники виготовляють низькоімпедансні конденсатори (Low Impedance) і вказують для них значення імпедансу, виміряного на частоті 100 кГц. Активну складову (ESR) можна розрахувати за формулою $R =$

$$\sqrt{Z^2 - X^2}.$$

Для конденсатора Panasonic 470uF 35V серії FC значення імпедансу Z на частоті 100 кГц зазначено як 0,03 Ом. Розрахуємо значення його ESR (рис.1.7), враховуючи реактивний опір $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 100000 \cdot 470 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{2\pi \cdot 47} \approx 0.0034 \text{ Ом}$$

Тепер використаємо формулу для визначення ESR:

$$ESR = \sqrt{Z^2 - X_C^2} = \sqrt{0.03^2 - 0.0034^2} \approx \sqrt{0.0009 - 0.00001156} \approx \sqrt{0.0008884} \\ \approx 0.0298 \text{ Ом.}$$

Тангенс кута втрат для цього випадку розраховується як R/X_C :

$$\tan \delta = \frac{ESR}{X_C} = \frac{0.0298}{0.0034} \approx 8.76.$$

Більшість приладів і пробників ESR, популярних у ремонтній практиці, засновані на вимірюванні повного опору змінному струмі на частоті 40÷100 кГц. Для електролітичних конденсаторів великих номіналів такі прилади показують значення, максимально близькі до ESR, яке складає основну частину імпедансу на цих частотах.

Недоліком такого методу є значна похибка при вимірюванні малих номіналів ємності (менше 10 мкФ), коли реактивний опір конденсатора на цій частоті може бути порівняний і перевищувати ESR. У цьому випадку прилад покаже значення імпедансу, а реальне значення ESR може бути в кілька разів меншим.

Однією з вимог до практичного використання ESR-пробників є можливість проводити виміри без випаювання конденсатора з плати. Тому вимірювання повинно проводитись при досить низькому падінні напруги на конденсаторі, що перевіряється, виключаючи відкривання переходів напівпровідникових елементів схеми.

У продажу є як прості пробники зі світлодіодною або стрілочною індикацією, так і вимірювачі з цифровою шкалою різного ступеня складності.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Далі наведено один із способів вимірювання ESR та ємності як окремих параметрів конденсатора. Якщо конденсатор ємністю C заряджати від джерела постійного струму I , напруга на його виводах буде лінійно зростати від значення U_R за законом:

$$C \frac{dU}{dt} = I = const, \quad (1.4)$$

де U_R – падіння напруги на активному опорі конденсатора (ESR).

У такому випадку ємність конденсатора визначається виразом:

$$C = I \frac{dt}{dU} \quad (1.5)$$

Розраховувавши час заряду для двох фіксованих значень напруги U_1 і U_2 , взявши U_2 удвічі більшим за U_1 , розрахунок ємності буде таким:

$$C = \frac{I \Delta t}{\Delta U} \quad (1.6)$$

Розрахувати U_R для обчислення ESR можна кількома способами, наприклад, склавши рівняння прямої за двома точками і знайти координату Y для нульового значення X , або геометрично, виходячи з співвідношення сторін подібних трикутників.

Активний опір конденсатора (ESR) у такому випадку буде:

$$ESR = \frac{U_R}{I} \quad (1.7)$$

Для реалізації такого методу не потрібно застосування АЦП, порогові значення напруги для керування таймером встановлюються компараторами, а математичні розрахунки ємності і ESR виконуються мікроконтролером з виведенням інформації на рідкокристалічний дисплей.

У деяких подібних конструкціях для вимірювання ESR використовується більш простий, але менш точний метод. Вимірюється рівень напруги U_{RU_R} за допомогою АЦП у початковий момент часу. Незважаючи на те, що вимірювальний імпульс досить короткий (1-2 мкс), конденсатори меншої ємності встигають зарядитися до більшого значення, ніж конденсатори великої ємності, що створює певну похибку у вимірюванні ESR різних номіналів конденсаторів.

Слід враховувати, що ESR, виміряний постійним струмом, є відносним показником якості електролітичного конденсатора. Значущою складовою ESR є

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

діелектричні втрати, які суттєво змінюються зі зміною частоти змінного струму.

Існують більш складні та точні методи і способи вимірювання, засновані на аналізі зсуву фаз у конденсаторі. У цьому випадку ESR визначається добутком імпедансу і тангенса кута втрат.

1.5 Аналіз схемотехніки приладів визначення ємності та ESR

1.5.1 Тестер конденсаторів на базі мікроконтролера ATmega-16

На ринку представлено багато настільних та портативних вимірювачів, виробники яких стверджують про нижню межу вимірювання ємності в 0,1 пФ із високою точністю для таких малих ємностей. Проте більшість з них здійснює вимірювання на низькій частоті (одиниці кГц). На відміну від них, цей вимірювач (рис. 1.8) спеціально розроблений для вимірювання невеликих значень ємності. Основні параметри тестера ємності: діапазон вимірювання – від 1 пФ до 470 мкФ; межі вимірювання: автоматичне перемикання – 0...56 нФ (нижня межа) і 56 нФ...470 мкФ (верхня межа). Індикація відображається на трьохзначному дисплеї; керування здійснюється єдиною кнопкою для обнулення та калібрування; калібрування проводиться один раз за допомогою двох еталонних конденсаторів: 100 пФ і 100 нФ. Більшість виводів мікроконтролера підключено до РКІ, а деякі також підключені до роз'єму для внутрішньосхемного програмування. Чотири виводи використовуються в схемі вимірювання ємності, включаючи входи компаратора АІN0 і АІN1, вихід керування межами вимірювання (через транзистор) і вихід вибору порогової напруги. До останнього виводу мікроконтролера підключена кнопка. Мікроконтролер проводить вимірювання ємності у два етапи. Спершу визначається час заряду конденсатора через резистор опором 3,3 МОм (нижня межа). Якщо потрібна напруга не досягнута протягом 0,15 секунд (що відповідає ємності близько 56 пФ), заряд повторюється через резистор опором 3,3 кОм (верхня межа). Мікроконтролер розряджає конденсатор через резистор 100 Ом, а потім заряджає його до 0,17 В. Після цього вимірюється час заряду до 2,5 В. При виведенні результату на РКІ подається напруга змінної полярності з частотою близько 78 Гц, що усуває мерехтіння індикатора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.5.2 Тестер конденсаторів на базі мікроконтролера АТМega-8

Робота пристрою (рис. 1.9) базується на вимірюванні часу заряду конденсатора до певної порогової напруги. Розрахунок проводиться в мікроконтролері за формулою:

$$T = \frac{R \cdot C}{\ln\left(\frac{E}{E - V_{C1}}\right)}, \text{ де:} \quad (1.8)$$

- T – час заряду;
- R – опір ланцюга заряду;
- C – ємність конденсатора;
- V_{C1} – напруга на конденсаторі в момент часу T;
- E – ЕРС ланцюга.

Пристрій має дві кнопки: кнопку скидання (обнулення) і кнопку перемикання режимів роботи: "Частотомір", "Вимірювання pF" та "Вимірювання nF". Вимірювач ємності працює у двох діапазонах: "pF – з градацією 1 пФ" і "nF – з градацією 1 нФ". Діапазон вимірювання першого режиму – 1 пФ – 20 нФ, з точністю 1 пФ. Діапазон другого режиму – 1 нФ – 22 мкФ, з точністю 1 нФ. Третій режим – 1 мкФ – 2000 мкФ, з точністю 1 мкФ. Діапазон частотоміра – 10 Гц (1 Гц) – 8 МГц, з точністю 10 Гц (1 Гц).

1.5.3 Тестер конденсаторів на PIC-мікроконтролері

Цей пристрій (рис. 1.10) використовує популярний PIC-мікроконтролер та простий цифровий індикатор, який значно дешевший за багаторядкові алфавітно-цифрові модулі РКІ. Прилад орієнтований на радіоаматорів, що займаються ремонтом і виготовленням КХ та УКХ апаратури.

Технічні характеристики:

- Напруга живлення: 9–15 В;
- Середній споживаний струм: 9 мА;
- Діапазон вимірювання ємності: 0,1 пФ – 0,1 мкФ;
- Діапазон вимірювання індуктивності: 0,01 мкГн – 10 мГн;
- Точність вимірювань: не гірше 5%.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

монтажу. Аналогічно враховується і індуктивність монтажу та паразитна індуктивність конденсатора. Перед вимірюванням треба натиснути клавішу калібрування S3, контролер обчислить значення L1 та C1 контуру генератора і занесе їх у пам'ять. Потім підключить вимірюваний конденсатор паралельно до контуру генератора і ввімкне режим вимірювання (клавіша S4). Контролер обчислює нові значення параметрів контуру і виводить на індикатор величину ємності вимірюваного конденсатора. Процес вимірювання і калібрування відбувається з використанням калібрувального конденсатора C2, що дозволяє виключити вплив паразитної індуктивності на точність вимірювання.

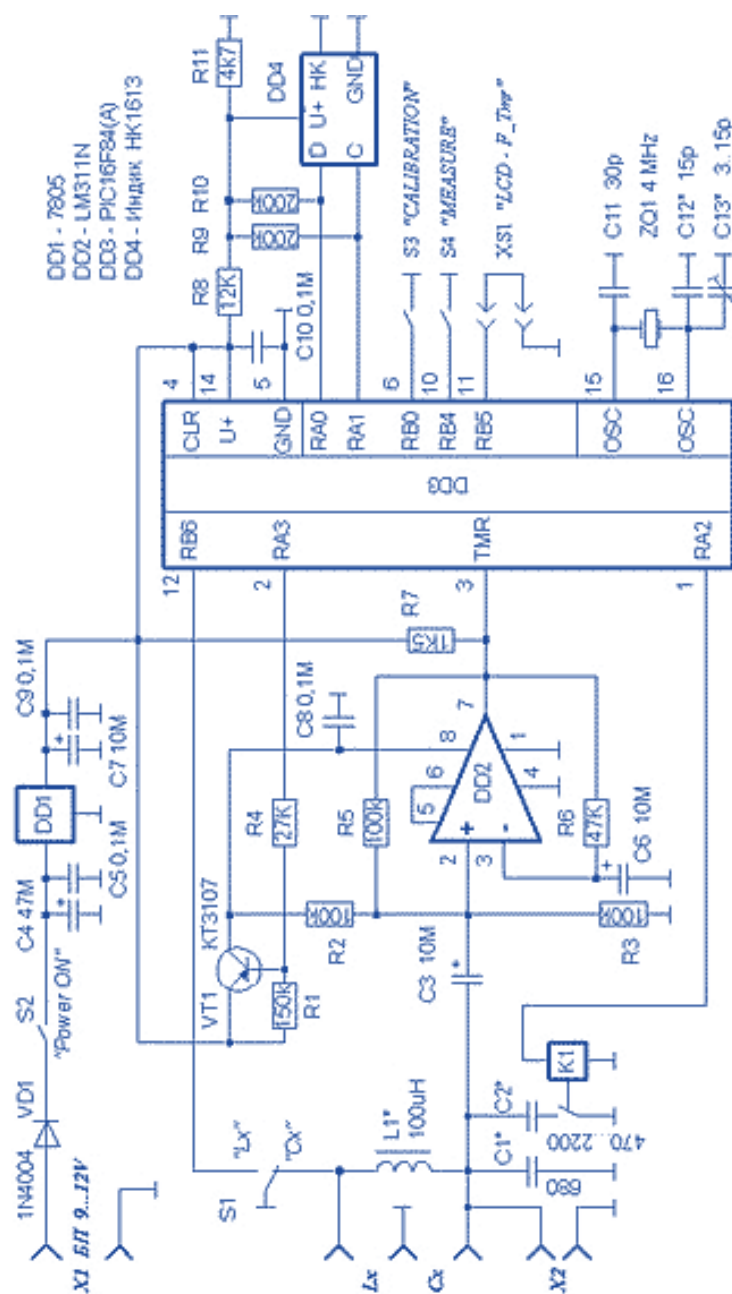


Рисунок 1.10. Схема тестеру конденсаторів на PIC-мікроконтролері

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |
|------|------|----------|--------|------|

1.6 Постановка задачі проектування

Метою даного проекту є розробка тестера ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері. Пристрій має виконувати наступні функції:

- Визначення справності конденсатора;
- Вимірювання ємності конденсатора;
- Відображення показань на дисплеї пристрою.

Етапи роботи є такими:

1. Розробка структурної схеми:
 - Визначення основних функціональних вузлів пристрою;
 - Вибір принципів взаємодії між вузлами та їх взаємне розташування.
2. Розробка принципової електричної схеми:
 - Вибір основних компонентів та мікросхем;
 - Розробка структури схеми та її узгодження з вимогами.
3. Розробка блок-схеми алгоритму роботи:
 - Створення алгоритму роботи мікроконтролера та інших функціональних блоків;
 - Визначення основних етапів обробки сигналів та передачі даних.
4. Проектування друкованої плати:
 - Розташування компонентів на платі;
 - Оптимізація розводки друкованих доріжок для мінімізації перешкод.
5. Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера:
 - Написання програми для вимірювання ємності та виведення результатів на дисплей;
 - Тестування та відлагодження програмного забезпечення.
6. Виготовлення та тестування прототипу:
 - Монтаж компонентів на друковану плату;
 - Проведення випробувань для оцінки точності вимірювань та надійності приладу.

Вимоги до пристрою згідно технічному завданню на дипломне проектування є такими:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Забезпечення точності вимірювань ємності з мінімальною похибкою;
- Мінімізація енергоспоживання за рахунок використання мікросхем з низьким споживанням енергії;
- Використання енергоефективного стабілізатора напруги;
- Наявність алфавітно-цифрового дисплея для відображення результатів;
- Зручне керування режимами роботи за допомогою кнопоквих перемикачів;
- Захист від невірної підключення полярності живлення;
- Забезпечення стабільності роботи приладу в умовах самозбудження прескалера;
- Наявність роз'єму ISCP для внутрішньосхемного програмування;
- Можливість легкої перепрограмування мікроконтролера;
- Використання компонентів з планарним монтажем (SMD), але можливість заміни на аналогічні вітчизняного виробництва;
- Розміщення компонентів на платі з мінімізацією перешкод та забезпеченням зручного монтажу;
- Межі вимірювання ємності в діапазоні від 0,01 пФ до 2000 мкФ;
- Напруга живлення пристрою має бути в межах 6-15 В;
- Струм споживання не більше 20-30 мА;
- Погрішність вимірювання ємності повинна складати не більше 5%.

Проектування тестера ємності електричних конденсаторів повинно бути виконане з урахуванням всіх зазначених вимог для досягнення зазначеної точності вимірювань, надійності та зручності у використанні.

1.7 Розробка структурної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

Відповідно до викладених у п.1.6 вимог склад структурної схеми є таким:

1. Джерело живлення: Забезпечує подачу необхідної напруги для живлення всіх електронних компонентів схеми, включаючи мікроконтролер, компаратори, дисплей та інші елементи.

2. Джерело струму: Виконує функцію подачі стабільного струму

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

визначеного номіналу для зарядження конденсатора. Керується сигналами від мікроконтролера.

3. Джерело опорної напруги: Задає два значення опорної напруги U_1 та U_2 , які використовуються в схемах порівняння під час заряджання конденсатора.

4. Конденсатор: Досліджуваний елемент, ємність якого вимірюється. Підключається до клем пристрою для проведення вимірювань.

5. Транзисторний ключ: Призначений для розряджання конденсатора після проведення вимірювань. Керується сигналами від мікроконтролера.

6. Компаратор 1 і Компаратор 2: Порівнюють значення напруги на досліджуваному конденсаторі з еталонними значеннями з джерела опорної напруги. Генерують на своїх виходах високий логічний рівень, якщо напруга на конденсаторі вище еталонної U_1 чи U_2 .

7. Мікроконтролер: Відповідає за управління всіма функціональними вузлами пристрою. Проводить відлік проміжків часу заряджання конденсатора, розрахунок параметрів, подачу керуючих сигналів на транзисторний ключ і джерело струму. Виводить дані на дисплей.

8. Дисплей: Використовується для відображення результатів вимірювань. Забезпечує зручне керування режимами роботи за допомогою кнопочних перемикачів.

Відповідно до технічного завдання, пристрій повинен проводити вимірювання параметрів конденсаторів – ємності. Проведення вимірювань та розрахунок вказаних параметрів здійснюється за методикою, описаною в п. 1.4:

1. Ініціалізація:

- Після увімкнення пристрою проводиться початкова установка параметрів, ініціалізація пристрою та всіх його блоків;
- Завантажуються коефіцієнти та калібровані значення з енергонезалежної пам'яті пристрою;
- Пристрій переходить у режим очікування;

2. Початок вимірювання:

- Користувач підключає досліджуваний конденсатор до клем

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

пристрою;

- Натисканням клавiші подає команду початку вимiрювання;
3. Зарядження конденсатора:
- Вмикається джерело струму, що заряджає конденсатор до моменту спрацювання компараторiв 1 та 2;
 - Пристрiй вiдраховує час t_1 , поки напруга на конденсаторi досягне значення U_1 i спрацює компаратор 1;
 - Заряджання продовжується, i вiдраховується час t_2 до досягнення напруги U_2 ;
4. Порiвняння напруги:
- Компаратори порiвнюють значення напруги на конденсаторi з еталонними значеннями U_1 та U_2 ;
 - Пiсля спрацювання компаратора 2 джерело струму вимикається;
5. Розрядження конденсатора:
- Вiдкривається транзисторний ключ, через який проводиться розряджання конденсатора;
6. Розрахунок параметрiв:
- Мiкроконтролер за одержаними значеннями U_1 , U_2 , t_1 , t_2 проводить розрахунок ємностi конденсатора;
7. Вiдображення результатiв:
- Розрахованi значення виводяться на дисплей;
 - Пристрiй повертається в режим очiкування.

Структурна схема вимiрювального приладу буде мати невелику складнiсть, мале споживання та високi показники чутливостi. При вимiрюванні ємностей пристрiй працюватиме за резонансним принципом. Вимiрюваний елемент включається в коливальний контур з вiдомими параметрами, що входить до складу вимiрювального генератора. За змiненою генерованою частотою, розраховується шукане значення за загальновiдомою формулою:

$$f = \frac{1}{4\pi^2 LC} \quad (1.9)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Пiдпис | Дата | | 28 |

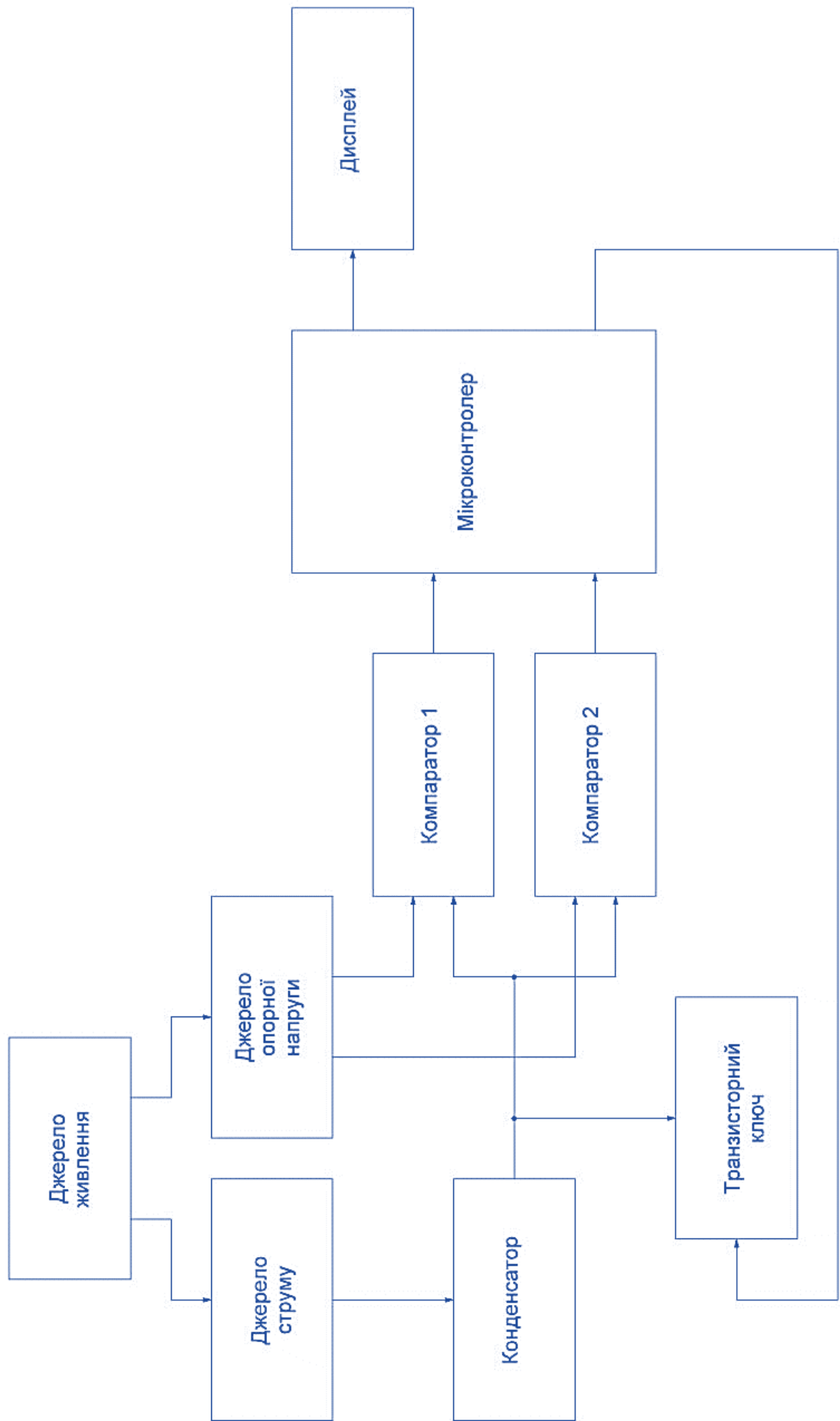


Рисунок 1.11. Структурна схема тестеру ємності електричних конденсаторів

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ

Арк.

29

Мікроконтролер є основним блоком, що проводить відлік проміжків часу заряджання конденсатора, розрахунок параметрів, виконує подачу керуючих сигналів на транзисторний ключ і джерело струму, виводить дані на дисплей.

Джерело живлення подає напругу на електронні компоненти схеми – мікроконтролер, компаратори, дисплей та на всі інші електричні кола. Джерело струму забезпечує подачу стабільного струму для зарядження конденсатора та керується сигналами мікроконтролера. Джерело опорної напруги задає опорні напруги U_1 та U_2 , що використовуються при порівнянні напруги на конденсаторі.

Компаратори порівнюють напругу на конденсаторі з еталонними значеннями U_1 та U_2 і генерують логічний сигнал у разі перевищення відповідних значень. Транзисторний ключ забезпечує розрядження конденсатора після завершення вимірювань та керується мікроконтролером.

Представлена на рис. 1.11 структурна схема забезпечує основу для подальшої розробки принципової електричної схеми, алгоритму роботи та програмного забезпечення мікроконтролера, а також монтажу компонентів на друкованій платі.

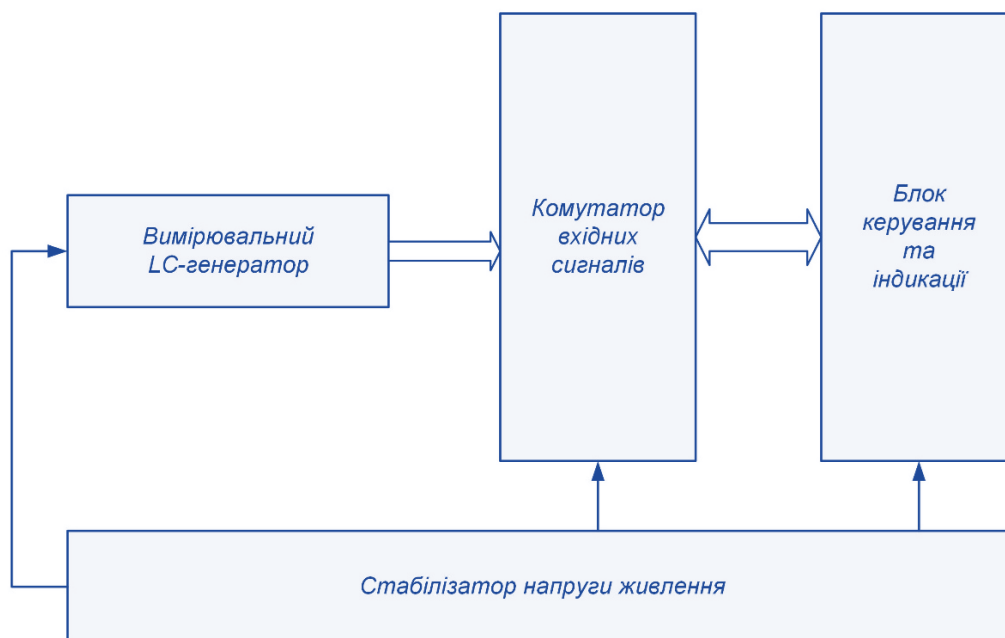


Рисунок 1.12. Модульна схема тестеру ємності електричних конденсаторів

Модульна схема тестеру ємності електричних конденсаторів наведена на рис.1.12. До складу схеми приладу входять блоки: LC-автогенератор для вимірювання ємності; комутатор вхідних сигналів; блок керування і індикації.

1.8 Розробка функціональної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

На основі структурних схем на рис.1.11 та 1.12 було створено функціональну електричну схему тестеру ємності електричних конденсаторів, яка зображена на рис. 1.13. Через те, що основні функції пристрою включають виконання математичних обчислень, вимірювання часових проміжків, подачу керуючих сигналів на транзисторні ключі та виведення даних на дисплей, мікроконтролер доцільно використовувати для виконання саме цих функцій.

Функціональні виводи мікроконтролера будуть виконувати наступні функції:

- Iout1, Iout2: для керування подачею струму для зарядки конденсатора;
- INT0, INT1: Входи для прийому сигналів переривання від компараторів, що реагують на напруги 2,4 В і 1,2 В на конденсаторі;
- LCD: Виводи для підключення ліній даних і керування дисплеєм;
- Start: Вхід для запуску процесу вимірювання;
- Disch: Вихід для керування транзистором VT1 для розрядки конденсатора.

Відповідно основні елементи функціональної схеми будуть такими:

1. Джерело опорної напруги: Забезпечує стабільну напругу 2,4 В та 1,2 В на входах компараторів. Значення напруги встановлюються за допомогою резистивного дільника;

2. Джерела струму: Генерують стабільні струми I1 (біля 0,5 мА) та I2 (біля 8 мА) для зарядки конденсаторів різної ємності. Активне джерело вибирається шляхом подачі керуючого сигналу від мікроконтролера;

3. Компаратори: Передають сигнали на входи переривань мікроконтролера, коли напруга на конденсаторі перевищує 2,4 В або 1,2 В. На входи INT0 та INT1 подається низький логічний рівень;

4. Дисплей: Призначений для індикації розрахованих параметрів ємності та ESR. Оптимально використовувати символний дисплей формату 16x2;

5. Джерело живлення: Перетворює вхідну напругу від зовнішнього джерела, такого як батарея, літій-іонний акумулятор або мережевий адаптер, у необхідну для роботи компонентів схеми.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

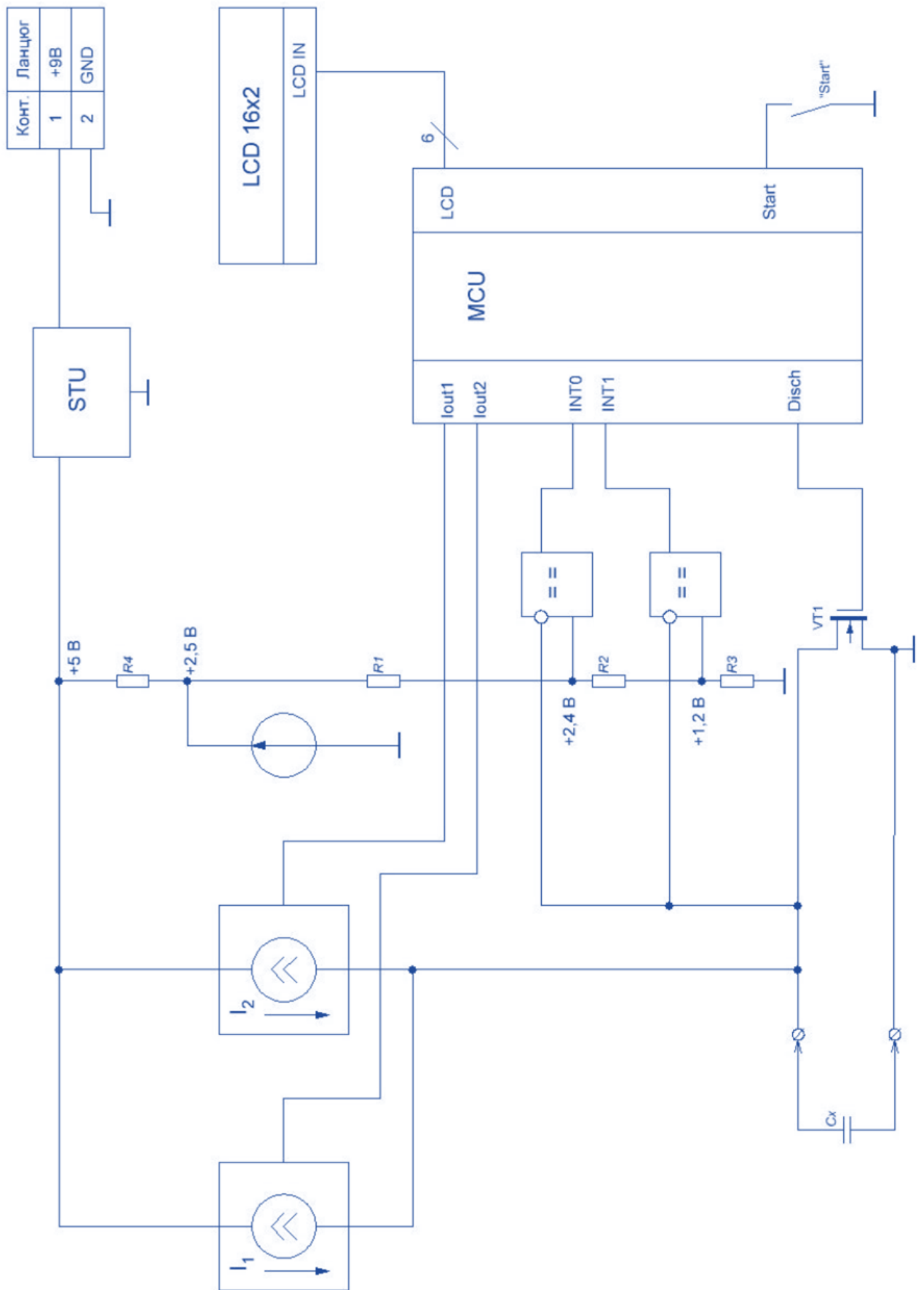


Рисунок 1.13. Функціональна схема тестеру ємності електричних конденсаторів

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ

Арк.

32

Мікроконтролер у функціональній схемі на рис. 1.13 виконує всі завдання, пов'язані з математичними обчисленнями, вимірюванням часових інтервалів, подачею керуючих сигналів на транзисторні ключі та виведенням результатів на дисплей. Використання мікроконтролера дозволяє ефективно керувати процесами зарядки та розрядки конденсаторів та проведенням вимірювань. Процес роботи починається з ініціалізації пристрою та завантаження коефіцієнтів і калібрувальних значень з енергонезалежної пам'яті. Користувач підключає конденсатор до клем, натискає кнопку "Start", після чого подається сигнал на джерело струму для зарядки конденсатора до моменту спрацювання компараторів. Компаратори зчитують напругу на конденсаторі, і мікроконтролер обчислює ємність конденсатора. Результати вимірювань виводяться на дисплей.

1.9 Вибір та аналіз мікросхем для схеми тестера ємності електричних конденсаторів

Для розробки тестера ємності електричних конденсаторів особливу увагу слід приділити вибору елементної бази, оскільки це значно впливає на точність і чутливість аналогової частини приладу.

Компаратори відіграють важливу роль у точності вимірювань. Для забезпечення мінімального рівня шумів і високої стабільності характеристик доцільно використовувати компаратори з малим розкидом параметрів. Компаратори повинні мати високу швидкодію і точність, щоб забезпечити коректну роботу приладу.

Джерела струму, що використовуються для заряджання конденсатора, повинні забезпечувати стабільний вихідний струм з мінімальним рівнем шумів і високою точністю. Це важливо для забезпечення точності вимірювань. Для цього підходять джерела струму з малим розкидом параметрів та високою стабільністю.

Джерело опорної напруги повинно забезпечувати стабільну і точну напругу для порівняння з вимірюваною напругою на конденсаторі. Значення напруги повинні бути точно задані для досягнення високої точності вимірювань. Використання джерел опорної напруги з високою стабільністю і низьким рівнем шумів є необхідним для забезпечення коректних результатів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

Мікроконтролер є серцем пристрою і виконує всі необхідні математичні обчислення, керує роботою всіх блоків та виводить дані на дисплей. Для виконання цих завдань мікроконтролер повинен мати високу тактову частоту, достатню кількість входів та виходів для підключення всіх необхідних компонентів, а також достатній обсяг пам'яті для зберігання програмного забезпечення і даних. Мікроконтролер повинен мати достатню кількість виводів для виконання всіх функцій керування та виведення даних на дисплей. Важливо, щоб мікроконтролер мав високий рівень продуктивності для забезпечення швидкої і коректної обробки даних.

Для досягнення високої точності та надійності роботи тестера ємності електричних конденсаторів важливо вибрати компоненти з високою стабільністю параметрів, низьким рівнем шумів і малим розкидом характеристик. Це забезпечить точність вимірювань і надійність роботи приладу.

1.9.1 Вибір мікросхеми-мікроконтролеру пристрою

Для розробки тестера ємності електричних конденсаторів було обрано мікроконтролер PIC16F84A (рис.1.14). Даний мікроконтролер має низку характеристик та можливостей, які роблять його доцільним вибором для цієї задачі. PIC16F84A належить до сімейства мікроконтролерів PIC, відомих своєю надійністю та широкими можливостями. Він використовує RISC архітектуру, яка забезпечує високу ефективність та швидкодію, що робить програмування простим та інтуїтивно зрозумілим.

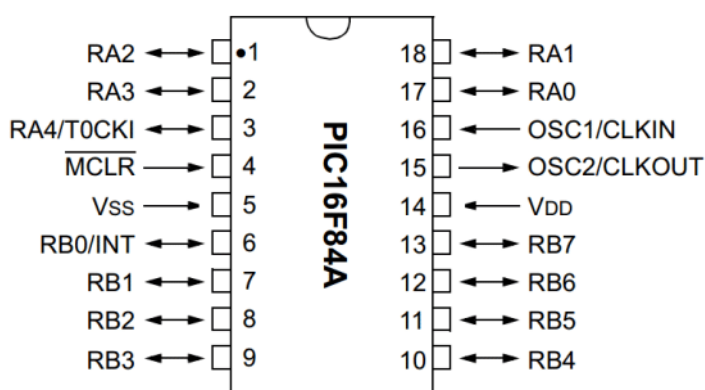


Рисунок 1.14. Контакти та зовнішній вигляд мікроконтролера PIC16F84A

Мікроконтролер містить 8-розрядний арифметико-логічний пристрій (АЛП) та робочий регістр W. АЛП представляє собою універсальний арифметичний модуль, який виконує різноманітні арифметичні та логічні операції, такі як додавання, віднімання, зсуви, логічні функції. Структурна схема PIC16F84A (рис.1.15) містить дві основні групи регістрів: спеціальні регістри і регістри загального призначення (РЗП). Спеціальні регістри використовуються для керування функціями мікроконтролера і поділяються на базові функції та регістри периферійних пристроїв.

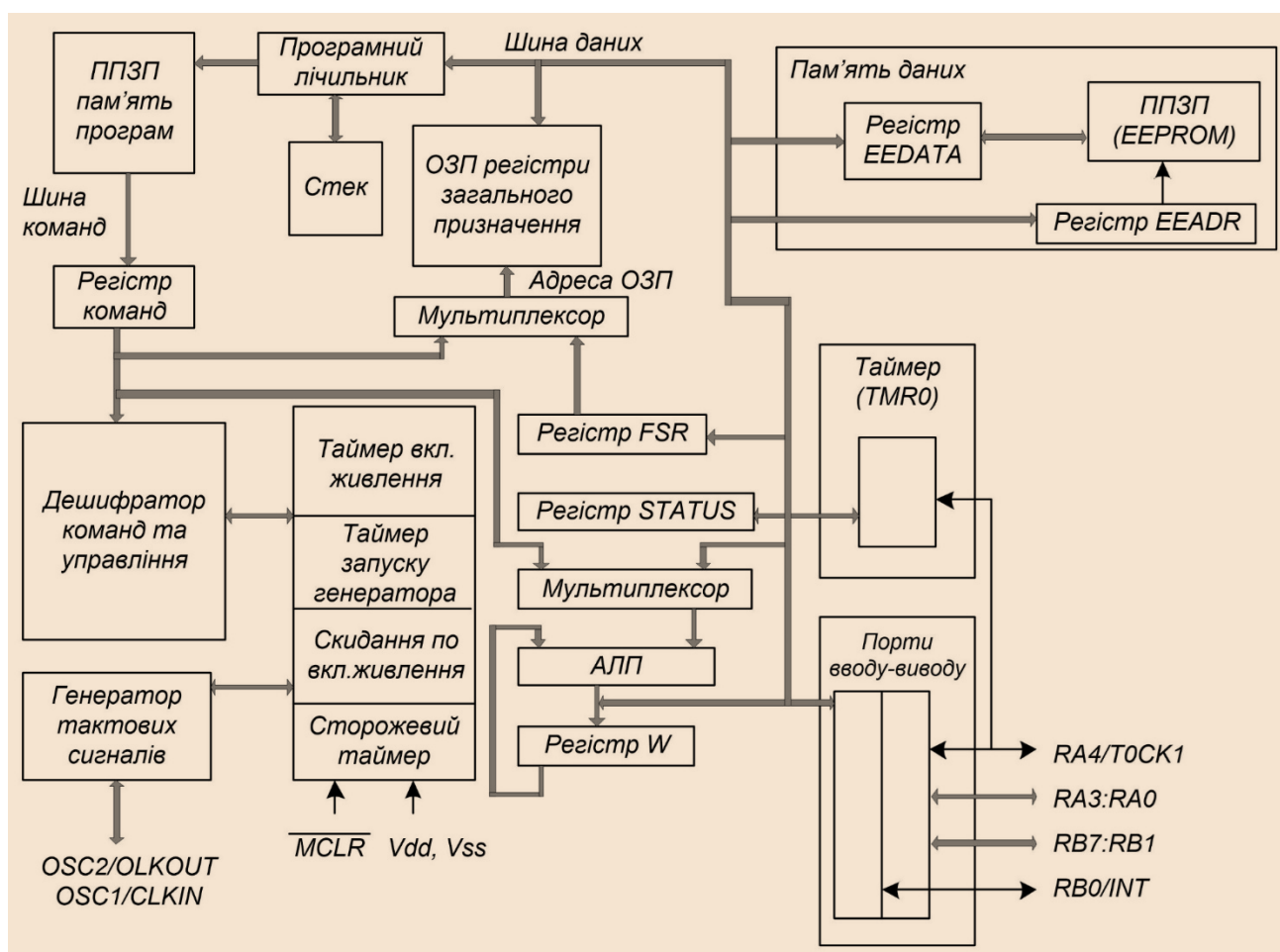


Рисунок 1.15. Діаграма мікроконтролера PIC16F84A

До базових функцій належать регістр-перемикач непрямої адресації (INDF), програмний лічильник (PC), представлений регістрами PCL і PCLATH, регістр слова стану (STATUS), регістр-показчик непрямої адресації (FSR), робочий регістр (W), регістр переривань (INTCON), а також регістр режимів роботи попереднього дільника і таймера (OPTION). Периферійні пристрої включають

реєстри вводу/виводу (RA-порт А і RB-порт В), реєстри даних (EEDATA) і адреси (EEADR) пам'яті даних-констант, реєстр таймера-лічильника (TMPO) та реєстри керування конфігурацією портів вводу/виводу (TRISA і TRISB).

Однією з головних переваг PIC16F84A є його ортогональна система команд, яка дозволяє виконувати будь-які команди над будь-яким реєстром із використанням довільного методу адресації. Це значно спрощує програмування та робить його ефективним. Мікроконтролер також підтримує серійний інтерфейс для програмування та налагодження, що полегшує процес розробки і оптимізації програмного забезпечення.

Мікроконтролер має вбудовану Flash пам'ять обсягом 1 КБ, що достатньо для зберігання програмного забезпечення, та оперативну пам'ять (RAM) обсягом 68 байт, яка дозволяє зберігати необхідні дані під час виконання програм. Його частота тактування досягає 10 МГц, що забезпечує виконання до 1 мільйона операцій за секунду, що є важливим для швидкої обробки даних і виконання математичних розрахунків.

PIC16F84A також має низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним вибором для портативних приладів, які працюють від батарей або акумуляторів. Внутрішньосхемне програмування (ICSP) забезпечує гнучкість та надійність розробки, дозволяючи швидко вносити зміни та оптимізувати роботу пристрою.

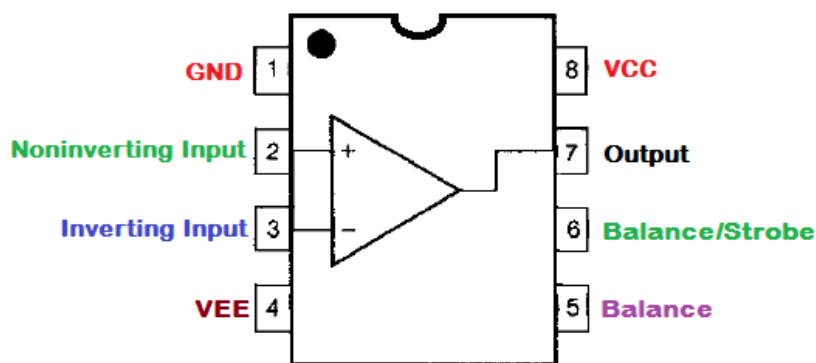
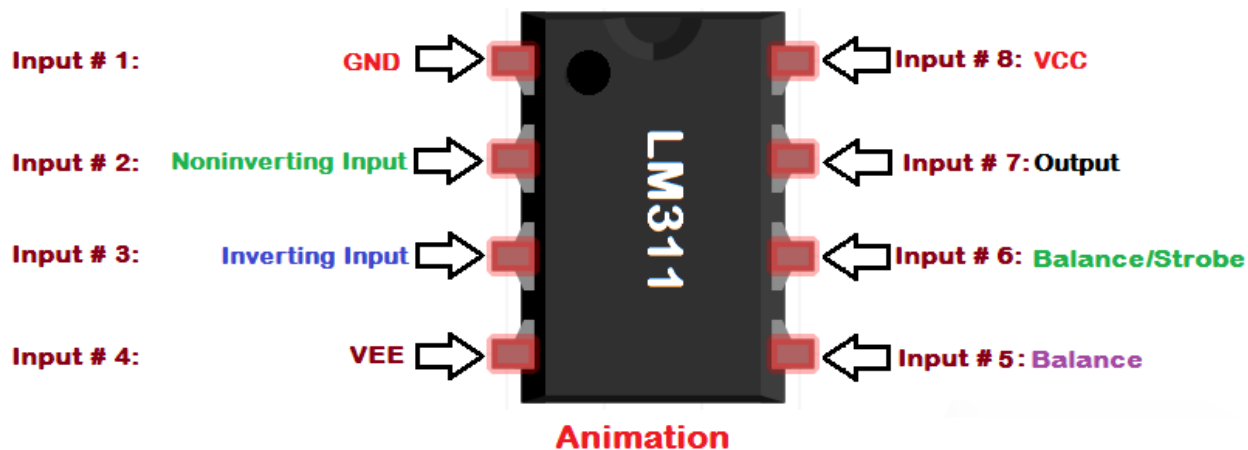
Таким чином, мікроконтролер PIC16F84A забезпечує необхідну функціональність, точність та швидкодію для розробки тестера ємності електричних конденсаторів, роблячи його оптимальним вибором для даного проекту. Він поєднує в собі високу продуктивність, низьке енергоспоживання та гнучкість програмування, що дозволяє досягти високої точності і надійності роботи пристрою.

1.9.2 Вибір мікросхеми-компаратору

Вибір компаратора для схеми тестера ємності електричних конденсаторів має ключове значення для забезпечення високої точності та надійності вимірювань. У даному проекті було обрано компаратор LM311 (рис.1.16), який

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

має оптимальні характеристики для виконання поставлених завдань. Компаратор LM311 є універсальним і широко використовуваним компонентом завдяки своїй високій швидкодії, низькому рівню шумів та стабільним параметрам.



LM311 IC

Рисунок 1.16. Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-компаратору LM311

Компаратор LM311 здатен забезпечити високу швидкодію завдяки своїй малій тривалості затримки при перемиканні, що дозволяє швидко реагувати на зміни напруги на конденсаторі. Це особливо важливо для точного визначення моментів, коли напруга на конденсаторі досягає заданих опорних значень, що дозволяє забезпечити високу точність вимірювань. Крім того, LM311 має широкий діапазон робочих напруг від 3 В до 32 В, що робить його універсальним для використання в різних схемах з різними джерелами живлення.

LM311 також має низький рівень споживання енергії, що є критичним для портативних пристроїв, які працюють від батарей. Це дозволяє забезпечити тривалу роботу пристрою без необхідності частого замінування або заряджання батарей. Важливою характеристикою LM311 є його здатність працювати з вихідними струмами до 50 мА, що дозволяє використовувати його для керування

іншими компонентами схеми, такими як транзисторні ключі або реле.

Компаратор LM311 має високу точність завдяки низькому рівню зміщення напруги і температурної стабільності. Це дозволяє забезпечити стабільні та точні вимірювання при різних умовах експлуатації. Висока точність і стабільність параметрів LM311 роблять його ідеальним вибором для використання в схемах вимірювання параметрів конденсаторів, де точність є критичним фактором.

Додатковою перевагою компаратора LM311 є його компактний розмір і простота інтеграції у схему. Це дозволяє зменшити загальні розміри пристрою і спростити процес монтажу. Компаратор LM311 є загальнодоступним і має широкий спектр застосування, що забезпечує легкість його придбання та заміни у разі необхідності.

Таким чином, вибір компаратора LM311 для схеми тестера ємності електричних конденсаторів обґрунтований його високою швидкістю, низьким рівнем споживання енергії, високою точністю та стабільністю параметрів, а також простотою інтеграції у схему. Ці характеристики роблять LM311 оптимальним вибором для забезпечення надійної та точної роботи пристрою.

1.9.3 Вибір мікросхеми-комутатору

У процесі розробки тестера ємності електричних конденсаторів було обрано комутатор CD4066 (рис.1.17). Даний комутатор є оптимальним вибором для цього застосування завдяки своїм характеристикам і можливостям. CD4066 належить до серії комутаторів з аналоговими перемикачами, що забезпечують високоякісне перемикання аналогових сигналів. Основною перевагою CD4066 є його здатність до низьких втрат потужності та мінімальних спотворень сигналу при перемиканні, що є важливим для точного вимірювання параметрів конденсаторів.

Комутатор CD4066 має чотири незалежні двонаправлені аналогові перемикачі, які можуть бути використані для керування різними сигналами у схемі. Це забезпечує гнучкість при проектуванні схеми та дозволяє з легкістю підключати різні компоненти, такі як джерела струму, компаратори та мікроконтролер. Комутатор має низький опір у відкритому стані (близько 50 Ом),

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

що мінімізує втрати сигналу та забезпечує високу точність вимірювань.

CD4066 також має високий рівень ізоляції між перемикачами, що забезпечує мінімальний вплив одного каналу на інший. Це є особливо важливим у схемах вимірювання, де точність та чистота сигналу мають критичне значення. Комутатор працює у широкому діапазоні напруг живлення від 3 В до 15 В, що робить його універсальним для використання в різних схемах.

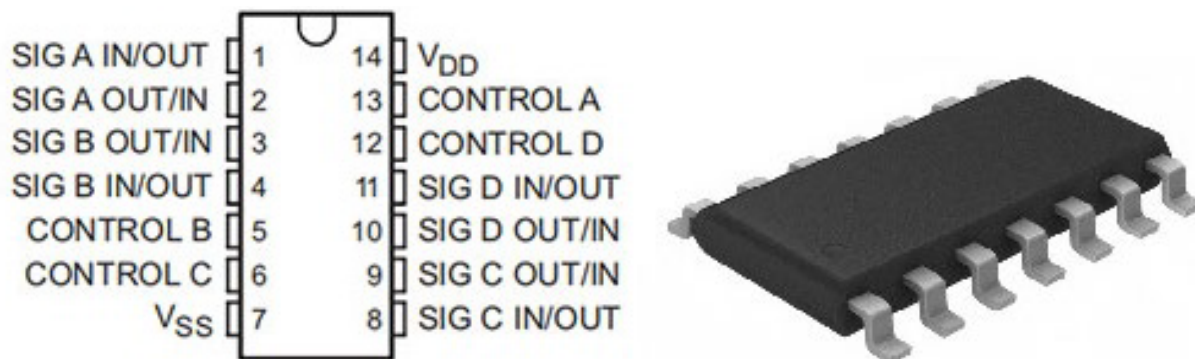


Рисунок 1.17. Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-комутатора CD4066

Висока швидкодія CD4066 забезпечує швидке перемикання сигналів, що дозволяє зменшити затримки та забезпечити швидке вимірювання параметрів конденсаторів. Комутатор має низьке споживання струму, що є важливим для портативних приладів, які працюють від батарей або акумуляторів. Це дозволяє забезпечити тривалу роботу пристрою без необхідності частого замінування або заряджання батарей.

Компактний розмір і простота інтеграції CD4066 у схему дозволяють зменшити загальні розміри пристрою та спростити процес монтажу. Комутатор також має високу стійкість до електромагнітних перешкод, що забезпечує надійну роботу пристрою в умовах наявності зовнішніх впливів.

Таким чином, вибір комутатора CD4066 для схеми тестера ємності електричних конденсаторів обґрунтований його високою швидкодією, низькими втратами потужності, високим рівнем ізоляції між каналами, широким діапазоном робочих напруг та низьким споживанням струму. Ці характеристики роблять CD4066 оптимальним вибором для забезпечення надійної та точної роботи пристрою.

1.9.4 Вибір мікросхеми прескалеру (програмованого дільника частоти)

Вибір програмованого дільника частоти для схеми тестера ємності електричних конденсаторів є ключовим фактором для забезпечення високої точності та стабільності вимірювань. У даному проекті обрано програмований дільник частоти SP8704 (рис.1.18), який відповідає всім необхідним вимогам для цього застосування. SP8704 відомий своєю надійністю, високою продуктивністю та можливістю програмування, що дозволяє налаштувати його під конкретні потреби проекту.

Програмований дільник частоти SP8704 здатний працювати в діапазоні частот до 950 МГц, що забезпечує достатню гнучкість для вимірювання широкого спектра параметрів конденсаторів. Він підтримує програмування для ділення на 128/129 або 64/65, що дозволяє використовувати його в різних режимах роботи залежно від конкретних вимог вимірювань. Висока частота роботи SP8704 робить його ідеальним вибором для схем з високими вимогами до точності та швидкодії.

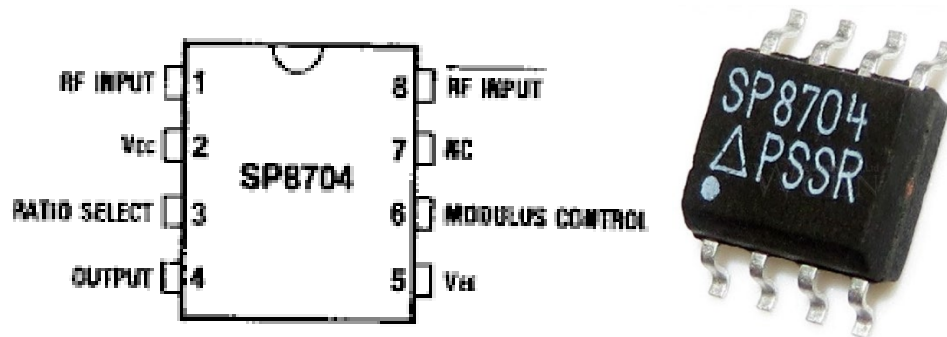


Рисунок 1.18. Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-прескалеру SP8704

Однією з ключових характеристик SP8704 є його низьке енергоспоживання, що є важливим для портативних пристроїв. Завдяки низькому рівню споживання струму, цей дільник частоти дозволяє продовжити термін роботи приладу від батареї або акумулятора, що є значною перевагою для мобільних вимірювальних пристроїв. SP8704 також має широкий діапазон робочих напруг від 3 В до 5 В, що забезпечує його сумісність з різними джерелами живлення та робить його універсальним для використання в різних схемах.

Ще однією важливою характеристикою SP8704 є його висока стійкість до електростатичних розрядів, що підвищує надійність роботи приладу в умовах, де

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

можливі зовнішні впливи. Цей дільник частоти має компактний розмір, що полегшує його інтеграцію у схему та зменшує загальні розміри пристрою. Простота програмування SP8704 дозволяє швидко і зручно налаштувати його під конкретні вимірювальні завдання, що підвищує ефективність розробки та експлуатації приладу.

Таким чином, вибір програмованого дільника частоти SP8704 для схеми тестера ємності електричних конденсаторів є обґрунтованим завдяки його високій частоті роботи, низькому енергоспоживанню, широкому діапазону робочих напруг та високій стійкості до електростатичних розрядів. Ці характеристики роблять SP8704 оптимальним вибором для забезпечення надійної, точної та ефективної роботи пристрою.

1.9.5 Вибір мікросхеми стабілізатора напруги

Для стабілізації напруги у схемі тестера ємності електричних конденсаторів було обрано стабілізатор напруги LP2951 (рис.1.19). Вибір даного компоненту зумовлений його високою стабільністю, низьким рівнем втрат потужності та широким діапазоном робочих напруг, що робить його оптимальним для використання у портативних вимірювальних пристроях.

LP2951 – це стабілізатор напруги з малою втратою напруги (LDO), який забезпечує стабільне живлення електронних компонентів навіть при низьких напругах живлення. Це особливо важливо для портативних пристроїв, які працюють від батарей або акумуляторів. LP2951 має низьке падіння напруги – типове значення складає всього 340 мВ, що дозволяє зменшити втрати енергії та підвищити ефективність роботи пристрою.

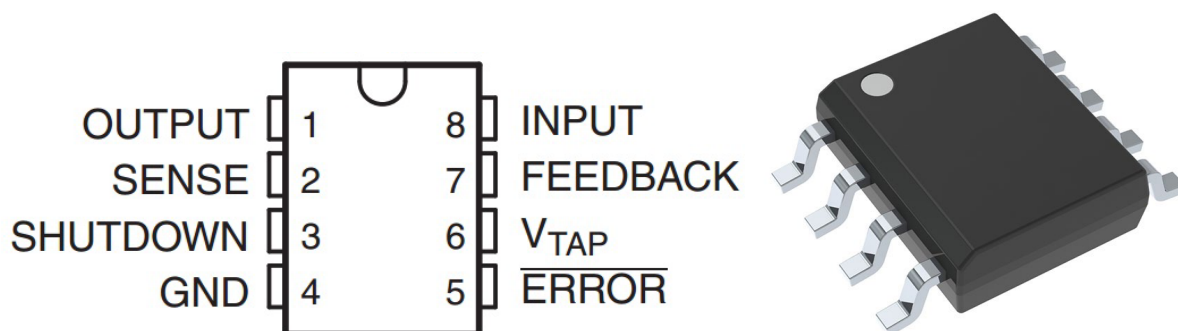


Рисунок 1.19. Контакти та зовнішній вигляд стабілізатора напруги LP2951

LP2951 підтримує вхідні напруги в діапазоні від 2 до 30 В, що робить його універсальним для використання з різними джерелами живлення. Вихідна напруга може бути як фіксованою (3 В, 3.3 В, 5 В), так і регульованою в діапазоні від 1.2 до 29 В, що забезпечує гнучкість у налаштуванні схеми відповідно до вимог проекту. Крім того, стабілізатор має функції відключення і виходу в режим збереження енергії, що дозволяє ефективно керувати живленням в пристрої.

Висока точність вихідної напруги LP2951 забезпечується низьким рівнем шумів і хорошою температурною стабільністю. Це дозволяє забезпечити стабільні умови роботи для чутливих аналогових компонентів схеми, таких як компаратори і джерела струму, що безпосередньо впливають на точність вимірювань. Додатковою перевагою є вбудований захист від перенапруги і перегріву, що підвищує надійність і безпеку роботи пристрою.

Компактний розмір LP2951 спрощує його інтеграцію у схему, зменшуючи загальні розміри пристрою. Це особливо важливо для портативних вимірювальних приладів, де розмір і вага є критичними параметрами. Стабілізатор також має широкий температурний діапазон роботи від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, що дозволяє використовувати його в різних умовах експлуатації.

Таким чином, стабілізатор напруги LP2951 був обраний для схеми тестера ємності електричних конденсаторів завдяки своїм високим характеристикам стабільності, низькому рівню втрат потужності, широкому діапазону робочих напруг та додатковим функціям захисту і енергозбереження. Ці властивості роблять LP2951 оптимальним вибором для забезпечення стабільного і надійного живлення електронних компонентів пристрою, що безпосередньо впливає на точність і надійність вимірювань.

1.9.6 Вибір LCD-дисплею

Для відображення інформації у тестері ємності електричних конденсаторів було обрано LCD-дисплей на базі контролера HD44780 (рис.1.20). Вибір цього дисплею обумовлений його широким використанням у різноманітних електронних проектах, простотою інтеграції, доступністю і багатофункціональністю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Контролер HD44780 є стандартним модулем керування для символічних LCD-дисплеїв, який підтримує дисплеї формату 16x2, 20x4 та інші. У нашому проекті використовується дисплей формату 16x2, який дозволяє відображати до 32 символів (два рядки по 16 символів). Це забезпечує достатній простір для відображення всіх необхідних вимірювальних параметрів, таких як ємність конденсатора та його ESR (еквівалентний серійний опір).

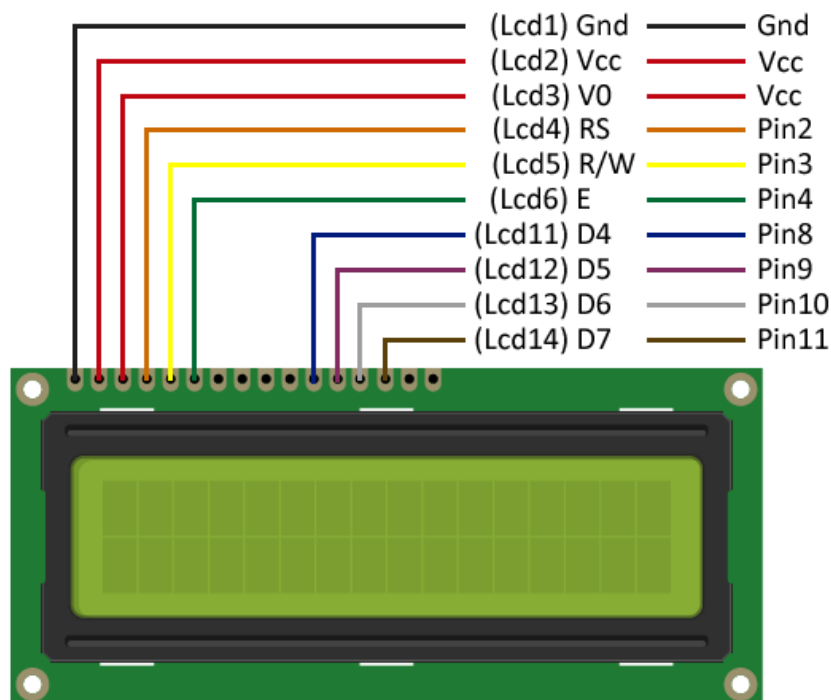


Рисунок 1.20. Контакти та зовнішній LCD-дисплею HD44780

Однією з основних переваг HD44780 є його сумісність із широким спектром мікроконтролерів, включаючи PIC16F84A. Інтерфейс підключення дисплея є досить простим і може бути реалізований як 8-бітовий, так і 4-бітовий режим, що дозволяє економити виводи мікроконтролера. Це забезпечує гнучкість при проектуванні схеми та підключенні інших компонентів.

HD44780 підтримує різноманітні функції, включаючи налаштування контрастності, керування підсвічуванням, перемикання курсору та інші. Це дозволяє налаштовувати дисплей для зручного і наочного відображення інформації. Додатково, можливість програмування символів користувача надає змогу створювати спеціальні символи або графічні елементи для покращення інтерфейсу користувача.

Важливим аспектом є енергоспоживання дисплея. HD44780 відомий своїм низьким рівнем споживання струму, що є критичним для портативних приладів, які працюють від батарей або акумуляторів. Це дозволяє продовжити час роботи пристрою без необхідності частого заряджання або заміни джерел живлення.

З технічної точки зору, дисплей на базі HD44780 має високу надійність і стабільність роботи, що підтверджено численними застосуваннями у різних електронних проектах. Дисплей здатен працювати в широкому діапазоні температур, що дозволяє використовувати пристрій в різних умовах експлуатації.

Отже, вибір LCD-дисплею на базі контролера HD44780 для схеми тестера ємності електричних конденсаторів обумовлений його сумісністю з мікроконтролером PIC16F84A, простотою інтеграції, функціональністю, низьким рівнем енергоспоживання, високою надійністю та стабільністю роботи. Ці характеристики роблять HD44780 ідеальним вибором для забезпечення наочного і зручного відображення інформації у проекті.

1.10 Реалізація принципової електричної схеми та моделі друкованої плати тестера ємності електричних конденсаторів

Процес розробки тестера ємності електричних конденсаторів почався зі створення принципової електричної схеми (рис.1.21), яка була розроблена за допомогою САПР sPlan. Вибір цієї програми був зумовлений її зручністю для розробки електричних схем та широким спектром можливостей для моделювання роботи компонентів. Принципова схема включає кілька основних вузлів, таких як вимірювальний генератор, вхідний підсилювач, вхідний дільник, комутатор сигналів, блок вимірювання та індикації, а також стабілізатор напруги.

Вимірювальний генератор побудований на мікросхемі-компараторі LM311, який дозволяє генерувати сигнал з частотою до 800 кГц, близький до меандру. Для забезпечення стабільних показників роботи генератора необхідне узгодження по опору та стабільне навантаження. Частоту генератора задають вимірювальна котушка L1 та конденсатор C1, а також еталонний конденсатор C2, який комутується мікроконтролером. Сигнал з виходу генератора через розв'язуючий резистор R7 передається на комутатор CD4066.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

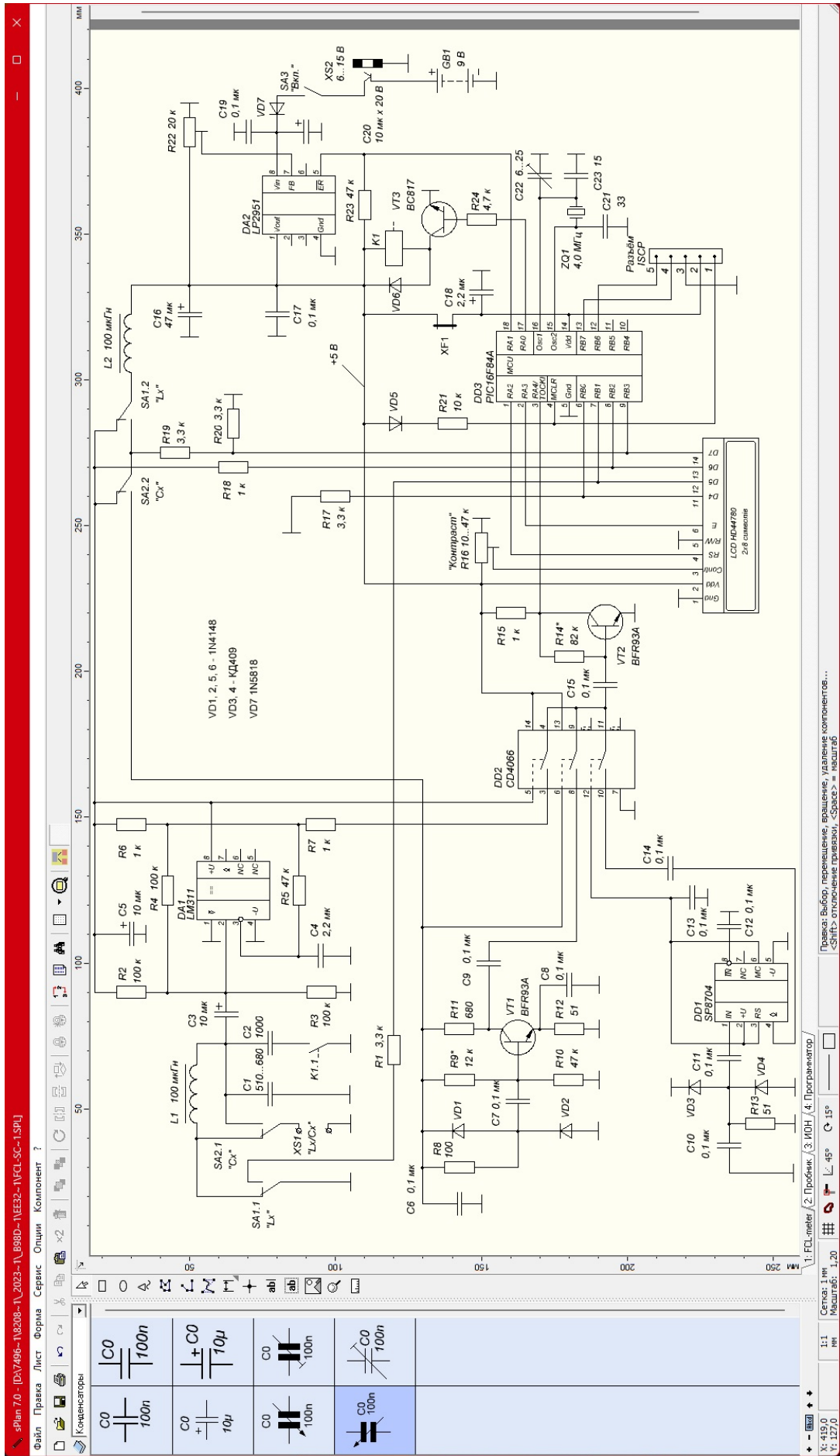


Рисунок 1.22. Принципова електрична схема тестеру ємності конденсаторів

Вхідний підсилювач на транзисторі VT1 призначений для посилення сигналу, що надходить. Резистор R8 забезпечує живлення виносного підсилювача з малою вхідною ємністю, що розширює можливості використання приладу. Прескалер, зібраний на DD1, включає обмежувальні діоди VD3 та VD4, що запобігають самозбудженню на високих частотах. Сигнал з підсилювача та прескалера подається на комутатор CD4066.

Мікроконтролер DD3 (PIC16F84A) виконує основні функції управління приладом, такі як обробка сигналів, розрахунок параметрів конденсатора та виведення результатів на дисплей HD44780. Мікроконтролер працює на частоті 4 МГц, забезпечуючи швидкодію 1 млн. операцій на секунду. Для внутрішньосхемного програмування передбачений роз'єм ISCP, що спрощує процес програмування та налагодження приладу.

Керування режимами роботи тестера здійснюється трьома кнопковими перемикачами SA1–SA2, які не тільки перемикають режими роботи, але й знижують енергоспоживання, відключаючи незадіяні вузли. Ключ керування реле на транзисторі VT3 підключає еталонний конденсатор C2, забезпечуючи необхідні робочі параметри.

Стабілізатор напруги DA2 є високоякісним стабілізатором на 5 В з низькою залишковою напругою та сигналізатором розряду батареї, що робить його ідеальним для пристроїв з низьким струмоспоживанням. Діод VD7 захищає пристрій від неправильного підключення полярності живлення. Для індикаторів, що вимагають негативної напруги, передбачено окремий джерело негативної напруги, здатне забезпечити до -4 В.

Після розробки принципової електричної схеми наступним етапом було моделювання її роботи у програмі NI Multisim, що дозволило перевірити функціональність усіх вузлів та уточнити параметри. Моделювання підтвердило правильність вибору компонентів та ефективність роботи схеми.

Після завершення розробки принципової електричної схеми та моделювання її роботи у NI Multisim, наступним етапом стала реалізація друкованої плати. Розробка друкованої плати виконувалася у САПР Sprint-Layout,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 46 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

яка дозволяє створювати високоякісні макети друкованих плат із зручним інтерфейсом для розміщення компонентів та трасування доріжок.

Важливим завданням було забезпечити оптимальне розміщення компонентів на платі для мінімізації довжини доріжок та зменшення електромагнітних перешкод. Для цього були використані основні вузли принципової схеми, такі як вимірювальний генератор на базі LM311, вхідний підсилювач на транзисторі VT1, вхідний дільник на DD1, комутатор сигналів на CD4066, блок вимірювання та індикації на PIC16F84A та LCD-дисплей, а також стабілізатор напруги.

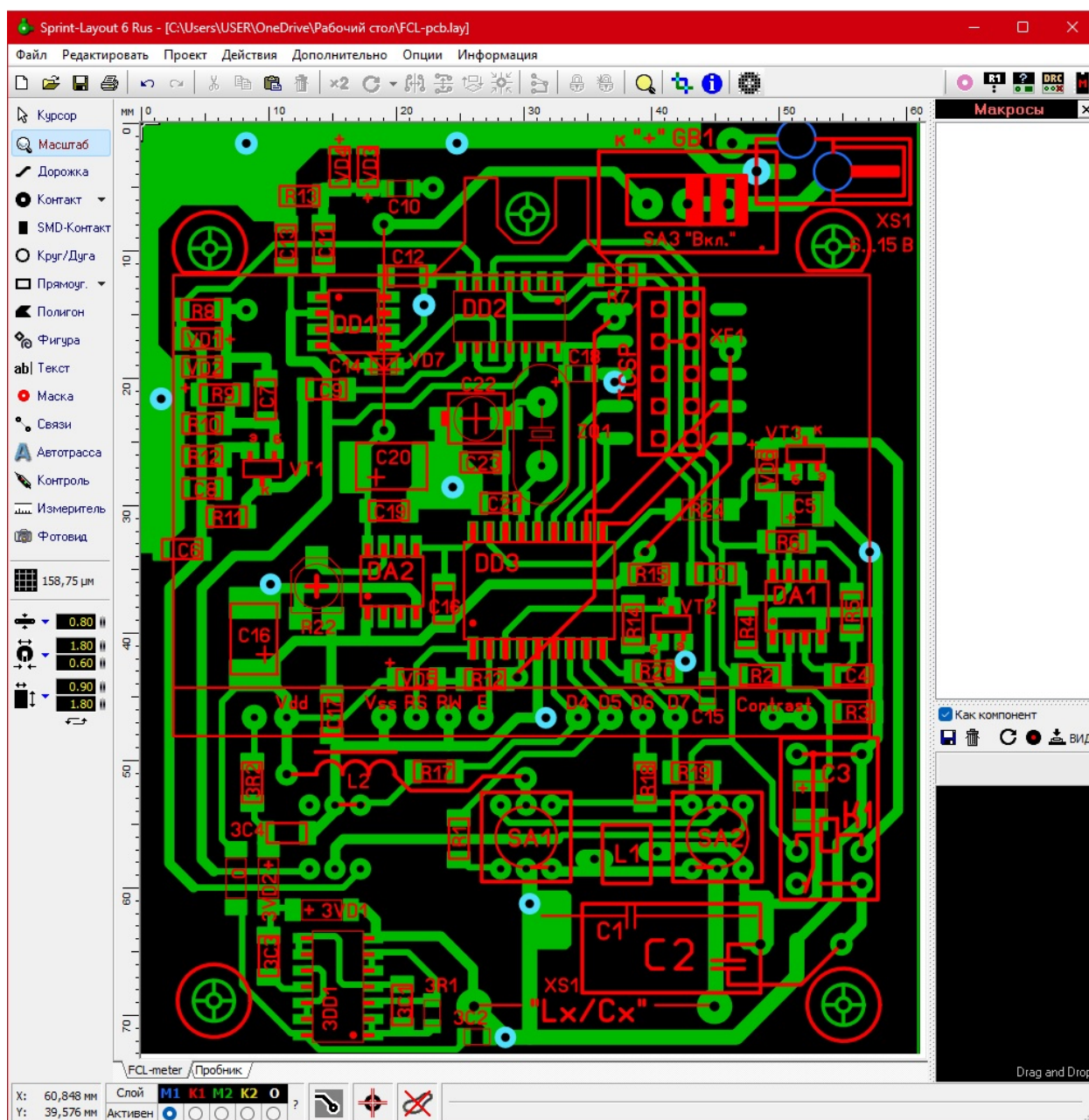


Рисунок 1.23. Модель друкованої плати тестеру ємності конденсаторів

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

Плата розміром 60 мм на 73 мм (рис.1.23) була розрахована таким чином, щоб забезпечити компактність і зручність у використанні приладу. Першим кроком було визначення розмірів і контурів плати, після чого почалося розташування компонентів. Особливу увагу приділили правильному розташуванню вимірювального генератора та підсилювача, щоб мінімізувати вплив перешкод на точність вимірювань.

Для зменшення електромагнітних перешкод і підвищення стабільності роботи плати, було забезпечено належне розміщення заземлюючих доріжок та використання екрануючих компонентів. З'єднання між компонентами виконувалося з використанням оптимального трасування доріжок, щоб уникнути надмірної довжини та перекручень.

Після розміщення компонентів та трасування доріжок, модель плати була перевірена на наявність помилок та коротких замикань. Після цього була проведена остаточна перевірка параметрів плати та її відповідність вимогам проекту. Розрахунки показали, що обрані розміри 60 мм на 73 мм є оптимальними для зручного розміщення всіх компонентів та забезпечення стабільної роботи приладу.

1.11 Обґрунтування вимог до елементної бази тестеру

Основним завданням при виборі елементної бази для тестера ємності електричних конденсаторів є забезпечення високої точності та стабільності роботи пристрою, а також можливість використання доступних компонентів. Більшість використовуваних у приладі деталей розрахована на планарний монтаж (SMD), але допускається застосування аналогічних міжнародних компонентів з "звичайними" виводами без значного погіршення параметрів приладу.

Для транзисторів VT1, VT2 та 2VT2 рекомендується використовувати 2N2222, 2N3904 або BC547. У випадку застосування BC547 можна очікувати незначне падіння чутливості на верхній ділянці діапазону F1. Для транзистора VT3 оптимально підійдуть 2N2907 або 2N3906. Для 2VT1 можуть бути використані 2N3819 або BF245. Діоди VD1, VD2, VD5, VD6 можуть бути замінені

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

на 1N4148. В якості VD3 і VD4 бажано застосовувати діоди з мінімальною власною ємністю, такі як 1N5711 або 1N5819. Для зменшення падіння напруги бажано вибрати діод з бар'єром Шоттки, наприклад 1N5819.

Вимірювальна котушка L1 є найважливішим елементом, від якого залежить точність і стабільність показань приладу. Вона повинна мати максимально високу добротність і мінімальну власну ємність. Рекомендується використовувати індуктивності типу 100-125 мкГн, такі як Bourns 1015R-12L або аналогічні.

Конденсатор C1 повинен відповідати високим вимогам термостабільності. Для цього підходять керамічні конденсатори типу NP0 або C0G з ємністю 510-680 пФ. Для еталонного конденсатора C2 також необхідно забезпечити високу стабільність і точність, для цього підходять конденсатори типу NP0 або C0G з ємністю 820-2200 пФ.

Для розширення нижнього кордону вимірювання частоти до одиниць герц необхідно паралельно до C7, C9 і C15 підключити електролітичні конденсатори з ємністю 10 мкФ. Це забезпечить стабільність і точність вимірювань при низьких частотах.

Особливу увагу варто приділити вибору реле K1. Воно повинно надійно спрацьовувати при напрузі 4.5 В і мати мінімальний опір замкнутих контактів (не більше 0.5 Ом). Оптимально використовувати малогабаритні реле з низьким опором контактів, такі як Omron G6K або аналогічні.

Для підключення клем зручно використовувати акустичні затискачі або лінійку з 8-10 цангових контактів, що забезпечує надійний контакт і легкість підключення.

Аналізуючи схему зображення, видно, що обрані компоненти та їх розташування забезпечують компактність і зручність використання пристрою, а також високий рівень надійності та точності вимірювань. Кожен елемент був ретельно підібраний для забезпечення оптимальної роботи приладу, враховуючи доступність та сумісність із міжнародними стандартами. Це дозволяє забезпечити надійну роботу тестера ємності електричних конденсаторів у різних умовах експлуатації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.12 Розробка блок-схеми алгоритму та програми для мікроконтролера

Відповідно до технічного завдання, пристрій, що розробляється в дипломному проекті, повинен проводити вимірювання ємності конденсаторів. Узагальнений алгоритм роботи пристрою вимірювання параметрів конденсаторів представлений на рис.1.24.

Пристрій має лінійний алгоритм роботи. Першим етапом після увімкнення є початкова установка параметрів, при якій проводиться ініціалізація всіх блоків пристрою, завантажуються коефіцієнти та калібровочні значення з енергонезалежної пам'яті. Після цього пристрій переходить у режим очікування.

Для початку вимірювання користувач повинен підключити досліджуваній конденсатор до клем пристрою та натисканням клавіші подати команду на початок вимірювання. Після цього вмикається джерело струму, яке заряджає конденсатор до моменту спрацювання компараторів 1 та 2. Пристрій проводить відрахунок часу t_1 , поки напруга на конденсаторі досягне значення U_1 і спрацює компаратор 1. Потім зарядження конденсатора продовжується і проводиться відрахунок часу t_2 до досягнення напруги U_2 і спрацювання компаратора 2. Після цього джерело струму вимикається, зарядження конденсатора припиняється, і відкривається транзисторний ключ для розрядження конденсатора.

На основі отриманих значень U_1 , U_2 , t_1 та t_2 проводиться розрахунок ємності конденсатора. Розраховані значення виводяться на дисплей, а пристрій переходить у режим очікування. Програма для мікроконтролера PIC16F84A була розроблена для виконання цих завдань і виведення результатів на індикатор HD44780 у форматі "Capacitance" XXXX xF або "C=" XXXX xF. Програма починається з ініціалізації портів і дисплея, після чого переходить у головний цикл. У головному циклі виконуються наступні дії:

- Увімкнення джерела струму і зарядження конденсатора;
- Вимірювання часу t_1 і t_2 , які потрібні для розрахунку ємності;
- Розрахунок ємності конденсатора на основі отриманих значень;
- Виведення результатів на дисплей у форматі "Capacitance" XXXX xF.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

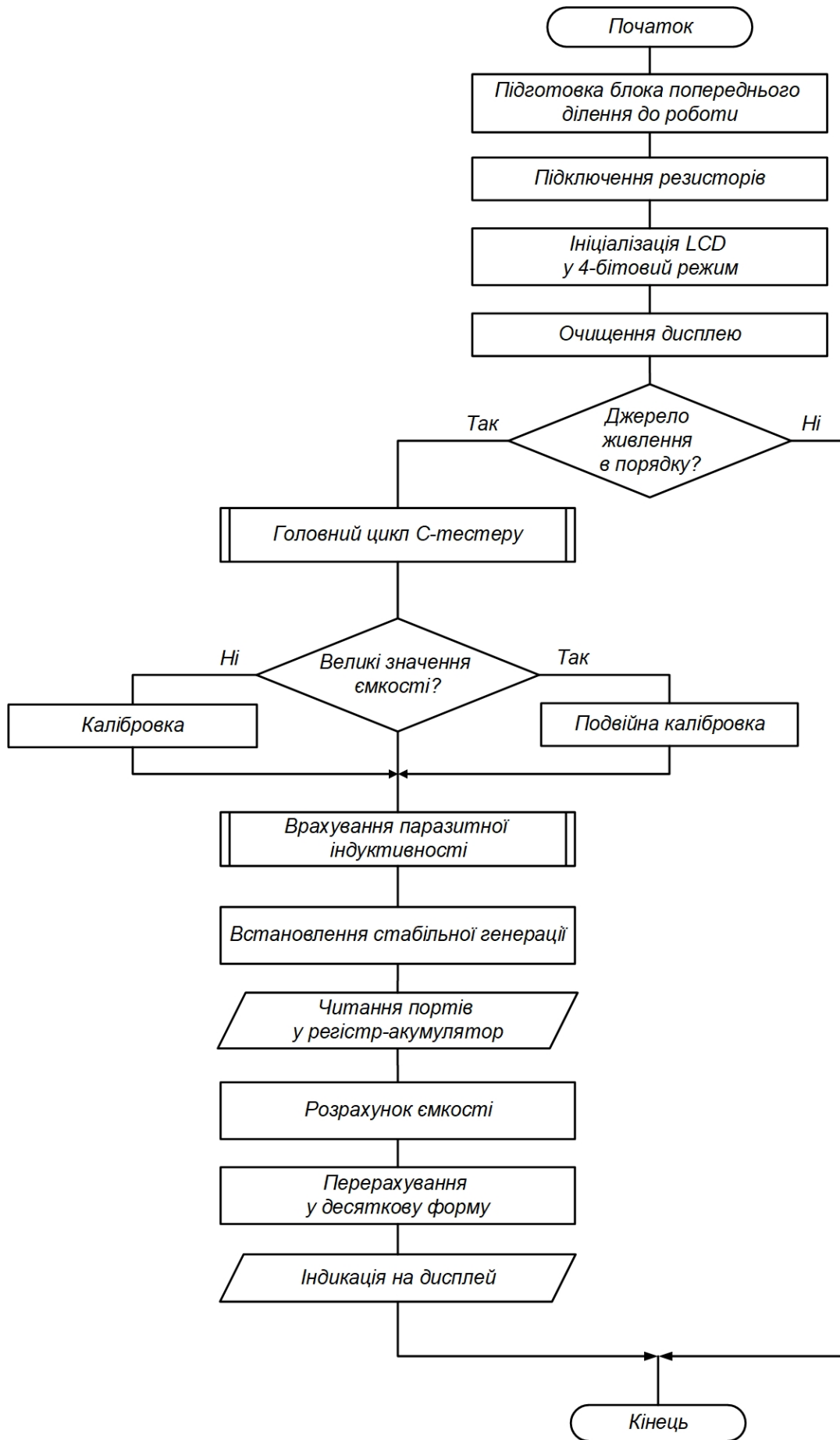


Рисунок 1.24. Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера тестеру

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ

Арк.

51

Програма використовує прості функції для керування LCD-дисплеєм на базі контролера HD44780, включаючи функції ініціалізації, очищення дисплея, встановлення курсора та виведення тексту.

Для розробки програми було використано середовище MPLAB X IDE, що є стандартним для мікроконтролерів PIC. Це середовище забезпечує всі необхідні інструменти для написання, налагодження та програмування коду.

Таким чином, програма дозволяє точно вимірювати ємність конденсаторів і відображати результати на дисплеї у зручному форматі. Алгоритм і програма були ретельно розроблені для забезпечення високої точності вимірювань і зручності використання пристрою. Програма для PIC16F84A мовою C наведена нижче:

```
#include <xc.h> // Включення бібліотеки для мікроконтролера
#define _XTAL_FREQ 4000000 // Визначення частоти кварцу.
// генератора (4 МГц)
// Визначення пінів для роботи з LCD
#define RS RC0
#define EN RC1
#define D4 RC2
#define D5 RC3
#define D6 RC4
#define D7 RC5
// Визначення пінів для роботи з кнопками
#define SA1 RA0
#define SA2 RA1
#define SA3 RA2
// Функція встановлення окремих бітів даних для LCD
void Lcd_SetBit(char data_bit) {
    if(data_bit & 1)
        D4 = 1;
    else
        D4 = 0;
    if(data_bit & 2)
        D5 = 1;
    else
        D5 = 0;
    if(data_bit & 4)
        D6 = 1;
}
```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

```

else
    D6 = 0;
if(data_bit & 8)
    D7 = 1;
else
    D7 = 0;
}
// Функція для відправки команди на LCD
void Lcd_Cmd(char a) {
    RS = 0; // Встановлюємо RS в 0 для вибору регістру команд
    Lcd_SetBit(a); // Встановлюємо біти даних
    EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
    __delay_ms(4); // Затримка
    EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
}
// Функція очищення дисплея LCD
void Lcd_Clear() {
    Lcd_Cmd(0); // Відправляємо команду "очищення"
    Lcd_Cmd(1); // Відправляємо команду "очищення"
}
// Функція встановлення курсора на дисплеї LCD
void Lcd_Set_Cursor(char a, char b) {
    char temp, z, y;
    if(a == 1) {
        temp = 0x80 + b - 1; // Розрахунок адреси для першого рядка
        z = temp >> 4; // Старша тетрада
        y = temp & 0x0F; // Молодша тетрада
        Lcd_Cmd(z); // Відправка старшої тетради
        Lcd_Cmd(y); // Відправка молодшої тетради
    } else if(a == 2) {
        temp = 0xC0 + b - 1; // Розрахунок адреси для другого рядка
        z = temp >> 4; // Старша тетрада
        y = temp & 0x0F; // Молодша тетрада
        Lcd_Cmd(z); // Відправка старшої тетради
        Lcd_Cmd(y); // Відправка молодшої тетради
    }
}
// Функція ініціалізації LCD
void Lcd_Start() {

```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

```

    Lcd_SetBit(0x00); // Скидання всіх бітів
    __delay_ms(20); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(5); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(11); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x08);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x0C);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x06);
}
// Функція друку тексту на LCD
void Lcd_Print(char *a) {
    int i;
    for(i = 0; a[i] != '\0'; i++) { // Прох. через всі символи рядка
        RS = 1; // Встановлюємо RS в 1 для вибору регістру даних
        Lcd_SetBit(a[i] >> 4); // Відправка старшого символу
        EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
        __delay_ms(4); // Затримка
        EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
        Lcd_SetBit(a[i] & 0x0F); // Відправка молодшого символу
        EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
        __delay_ms(4); // Затримка
        EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
    }
}
// Функція ініціалізації АЦП
void init_ADC() {
    ADCON0 = 0x41; // Включаємо АЦП, канал AN0
    ADCON1 = 0x80; // Правосторонній результат
}
// Функція читання значення з АЦП
unsigned int ADC_Read(unsigned char channel) {
    ADCON0 &= 0xC5; // Очищуємо канал вибору
    ADCON0 |= (channel << 3); // Вибираємо канал
}

```

```

    __delay_ms(2); // Затримка для стабілізації каналу
    ADCON0 |= 0x04; // Запуск конверсії
    while(ADCON0 & 0x04); // Чекаємо завершення конверсії
    return (ADRESH << 8) + ADRESL; // Повертаємо результат
}
// Режим самокалібрування
void Calibration_Mode() {
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);
    Lcd_Print("Calibration");
    __delay_ms(2000); // Затримка для відображення повідомлення
    // Код для виконання самокалібрування
}
// Режим установки константи X1
void Constant_X1_Mode() {
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);
    Lcd_Print("Constant X1");
    // Код для установки константи X1
}
void main() {
    TRISA = 0x07; // Встановлення портів A0, A1, A2 як входів
    TRISB = 0x00;
    TRISC = 0x00;
    Lcd_Start();
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);
    init_ADC();
    while(1) {
        // Перевірка на натискання кнопок для різних режимів
        if (SA1 == 1 && SA2 == 1) {
            Calibration_Mode();
        } else if (SA3 == 1) {
            Constant_X1_Mode();
        } else {
            // Увімкнення джерела струму і заряджання конденсатора
            unsigned int adc_value = ADC_Read(0); // Читання АЦП на
            // каналі 0
            // Розрахунок ємності

```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

```

float capacitance = (float)adc_value / 1024.0 * 5.0;
Lcd_Clear();
Lcd_Set_Cursor(1, 1);
Lcd_Print("Capacitance");
Lcd_Set_Cursor(2, 1);
char buffer[16];
// Форматування значення ємності
sprintf(buffer, "%4.2f uF", capacitance);
Lcd_Print(buffer);
__delay_ms(1000);
}
}
} Lcd_Cmd(0x00);
Lcd_Cmd(0x0C);
Lcd_Cmd(0x00);
Lcd_Cmd(0x06);
}
void Lcd_Print(char *a) {
int i;
for(i=0; a[i]!='\0'; i++) {
RS = 1;
Lcd_SetBit(a[i]>>4);
EN = 1;
__delay_ms(4);
EN = 0;
Lcd_SetBit(a[i] & 0x0F);
EN = 1;
__delay_ms(4);
EN = 0;
}
}
void main() {
TRISB = 0x00;
TRISC = 0x00;
Lcd_Start();
Lcd_Clear();
Lcd_Set_Cursor(1, 1);
while(1) {
// Увімкнення джерела струму і заряджання конденсатора

```

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

```

// Вимірювання часу t1 і t2
// Розрахунок ємності C
// Виведення результатів на дисплей у форматі
// "Capacitance" XXXX xF
Lcd_Clear();
Lcd_Set_Cursor(1, 1);
Lcd_Print("Capacitance");
Lcd_Set_Cursor(2, 1);
Lcd_Print("XXXX xF");
__delay_ms(1000); // Затримка перед повторенням
}
}

```

1.13 Налаштування пристрою для вимірювання ємності

Процедура налаштування пристрою для вимірювання ємності конденсаторів включає кілька важливих етапів. Розпочати слід з встановлення компонентів стабілізатора напруги та налаштування резистора R22 для отримання напруги 5.0 вольт на виводі 1 мікросхеми DA2. Після цього можна встановити всі інші елементи, окрім мікроконтролера DD3 і дисплея LCD. Струм споживання на цьому етапі не повинен перевищувати 12-16 мА при різних положеннях перемикачів SA1÷SA3.

Підсилювач-формувавч і вимірювальний генератор не потребують додаткового налаштування. Для досягнення максимальної чутливості можна підібрати оптимальні значення резисторів R9 та R14. Далі слід встановити мікроконтролер DD3 та LCD-дисплей, після чого продовжити налаштування пристрою.

Передусім треба переконатися, що струм споживання не перевищує 15 мА в жодному режимі, за винятком моменту спрацьовування реле. Наступним кроком буде налаштування контрастності зображення за допомогою резистора R16, щоб забезпечити чітке і яскраве відображення інформації на дисплеї.

Далі необхідно перейти до режиму установки констант. Треба встановити константу X1, рівну ємності конденсатора C2 у пікофарадах. Константа X2 повинна бути встановлена рівною 1.000. Для подальшого налаштування необхідно

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

мати під рукою набір конденсаторів із відомими значеннями ємності (з точністю не гірше 5%). Процес самокалібрування повинен враховувати конструктивну ємність затискачів. У режимі вимірювання ємності треба вибрати відому ємність і виміряти її. Потім треба поділити номінал конденсатора на показання приладу. Це значення використовується для коректування константи X1. Для підвищення точності вимірювань треба повторити цю операцію з іншими конденсаторами та знайти середнє арифметичне відношення їх номіналів до показань. Нове значення константи X1 дорівнює добутку знайденого коефіцієнта на попереднє значення X1. Треба записати нове значення константи перед переходом до подальших налаштувань. Після завершення налаштування пристрою слід провести калібрування. Треба встановити конденсатор з відомою ємністю між клемми пристрою та натиснути клавішу калібрування. Прилад автоматично скоригує вимірювання з урахуванням конструктивних особливостей.

Дотримання вищезазначених кроків забезпечить точні і надійні вимірювання ємності конденсаторів. Важливо уважно виконувати кожен етап налаштування та ретельно перевіряти отримані результати для досягнення максимальної точності роботи пристрою.

1.14 Інструкція користувача тестеру ємності конденсаторів

1.14.1 Режим самокалібрування тестеру

Для забезпечення точності вимірювання ємностей, пристрій потребує проходження процедури самокалібрування (рис.1.25). Після подачі живлення необхідно одночасно віджати кнопки SA1 ("Lx") і SA2 ("Cx"). Прилад увійде до режиму самокалібрування, що відобразиться на індикаторі повідомленням "Calibration" або "WAIT". Важливо швидко натиснути кнопку SA2 ("Cx"), не чекаючи спрацьовування реле. Якщо цей етап пропустити, прилад не врахує ємність клем, що призведе до відображення "нульових" показань у режимі вимірювання ємності (0.5÷1.0 пФ). Самокалібрування з натисканням SA2 ("Cx") дозволяє враховувати ємність виносних щупів-затискачів з власною ємністю до 100 пФ (рис.1.28).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 1.25. Зовнішній вигляд індикатору в режимі самокалібрування

1.14.2 Режим вимірювання ємності "Cx"

Після виконання калібрування, можна активувати режим вимірювання ємності "Cx" натисканням кнопки SA2 ("Cx") при відпущеній кнопці SA1 ("Lx"). На дисплеї з'явиться інформація у форматі "Capacitance XXXX xF" або "C= XXXX xF", де XXXX - виміряне значення ємності конденсатора (рис.1.26, рис.1.29).

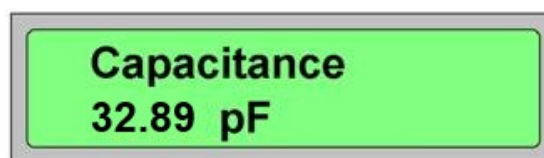


Рисунок 1.26. Зовнішній вигляд індикатору в режимі вимірювання ємності

1.14.3 Режим налаштування констант тестеру

Цей режим необхідний лише під час початкового налаштування приладу. Для входу у цей режим підключіть зовнішній вимикач (або перемичку) між виводом 13 мікроконтролера DD3 та загальним проводом, а також дві кнопки між виводами 10 та 11 DD3 і загальним проводом.

Після увімкнення приладу при замкнутому вимикачі, на дисплеї з'явиться повідомлення "Constant" X.XXX. Користуючись кнопками, можна змінювати значення констант з кроком один розряд. Для збереження встановленого значення необхідно змінити стан перемикача SA3. Для виходу з режиму розімкніть вимикач та переведіть SA3 або вимкніть живлення. Запис в EEPROM відбувається лише при маніпуляціях з SA3 (рис.1.27).



Рисунок 1.27. Зовнішній вигляд індикатору в режимі установки констант

Ця інструкція користувача допоможе вам правильно використовувати тестер ємності електричних конденсаторів, виконуючи процедури самокалібрування, вимірювання та налаштування констант. Дотримання цих інструкцій забезпечить високу точність і надійність вимірювань, дозволяючи пристрою ефективно виконувати свої завдання.

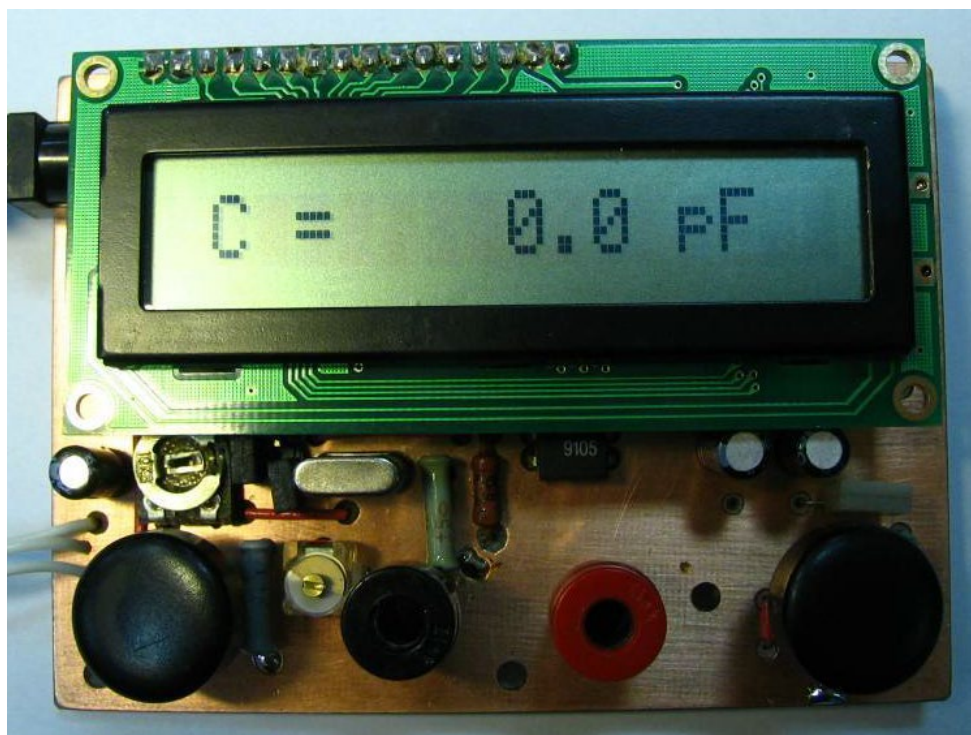


Рисунок 1.28. Результат калібрування приладу

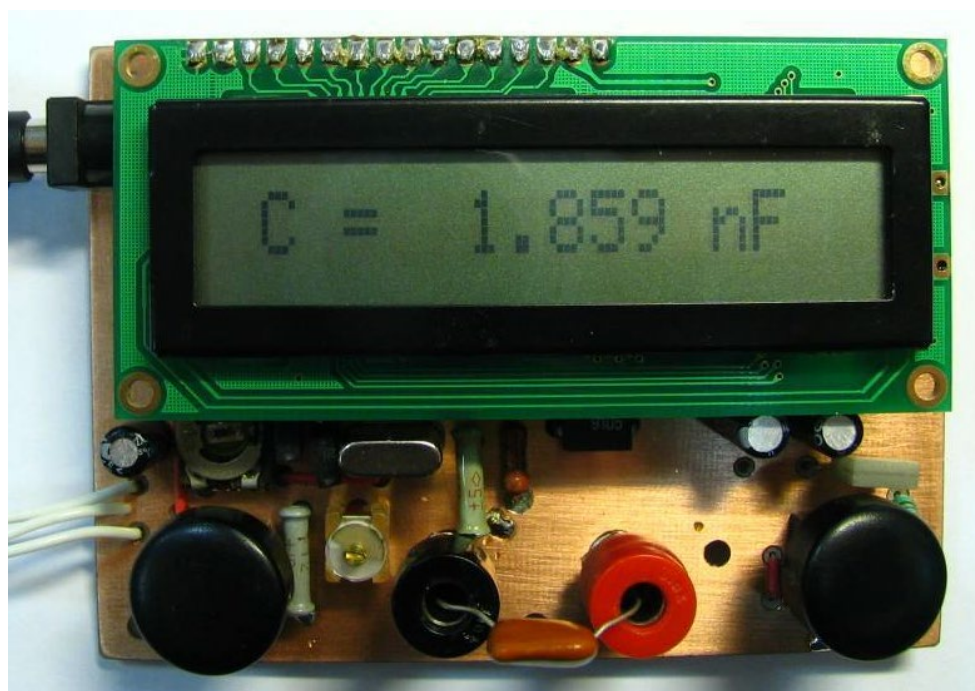


Рисунок 1.29. Експеримент з вимірювання ємності конденсатора 2.0nF

2 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

В даному дипломному проєкті виконано розробку спеціалізованого тестера ємності конденсаторів на базі мікроконтролера.

Таблиця 2.1. Розрахунок відомості покупних комплектуючих елементів

| Найменування, тип, модель | Од.вим | Кількість | Ціна, грн. | Вартість комплектуючих |
|--|--------|-----------|------------|------------------------|
| Мікросхема SP8704 | шт. | 1 | 40.00 | 40.00 |
| Мікросхема CD4066 | шт. | 1 | 60.00 | 60.00 |
| Мікросхема PIC16F84A | шт. | 1 | 80.00 | 80.00 |
| Мікросхема LM311 | шт. | 1 | 50.00 | 50.00 |
| Мікросхема LP2951 | шт. | 1 | 50.00 | 50.00 |
| Транзистор BFR93A | шт. | 2 | 15.00 | 30.00 |
| Транзистор BC817 | шт. | 1 | 15.00 | 15.00 |
| Діод 1N4148 | шт. | 4 | 5.00 | 20.00 |
| Діод КД409 | шт. | 2 | 5.00 | 10.00 |
| Діод 1N5818 | шт. | 1 | 5.00 | 5.00 |
| П'єзоелемент HC49/U4H | шт. | 1 | 30.00 | 30.00 |
| Котушка індуктивності 100мкГ | шт. | 2 | 20.00 | 40.00 |
| Реле TIANBO TR5V | шт. | 1 | 30.00 | 30.00 |
| Резистор С2-23-0.125-3,3 кОм | шт. | 3 | 2.00 | 6.00 |
| Резистор С2-23 -0.125 -100 кОм | шт. | 3 | 3.00 | 9.00 |
| Резистор С2-23-0.125 -47 кОм | шт. | 2 | 2.00 | 4.00 |
| Резистор С2 -23 -0.125 -1 кОм | шт. | 3 | 2.00 | 6.00 |
| Резистор С2 -23 -0.125-100 Ом | шт. | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Резистор С2-23- 0.125-12 кОм | шт. | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Резистор С2-23-0.125-680 Ом | шт. | 1 | 2.00 | 2.00 |
| Резистор С2-23-0.125-51 Ом | шт. | 2 | 2.00 | 4.00 |
| Резистор С2-23-0.125 -82 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор СПЗ-386 – 47 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор С2 -23 -0.125 -1 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор С2-23 -0.125 -3,3 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор С2 -23-0.125 -10 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор СПЗ-386 – 20 кОм | шт. | 1 | 3.00 | 3.00 |
| Резистор С2-23-0.125-47 кОм | шт. | 2 | 3.00 | 6.00 |
| Конденсатор К10-17а -510 пФ | шт. | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Конденсатор К10-17а -1000 пФ | шт. | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Конденсатор К50 -35- 2,2 мкФ | шт. | 2 | 20.00 | 40.00 |
| Конденсатор К50 -35-10 мкФ | шт. | 3 | 10.00 | 30.00 |
| Конденсатор К10-17а -0,1 мкФ | шт. | 12 | 20.00 | 240.00 |
| Конденсатор К50 -35- 47 мкФ | шт. | 1 | 30.00 | 30.00 |
| Конденсатор К10-17а -33 пФ | шт. | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Конденсатор СТС-038-10RSM | шт. | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Конденсатор К10-17а -15 пФ | шт. | 1 | 10.00 | 10.00 |
| Загальна вартість покупних комплектуючих елементів | | | | 909 |
| Транспортні витрати (10%) | | | | 90.9 |
| Всього (Впк) | | | | 999.9 |

| | | | |
|------|------|----------|--------|
| | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис |
| | | | Дата |

КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ

Арк.

61

Розроблений апарат вирізняється високою точністю вимірювання, що є надзвичайно важливим при діагностиці та налаштуванні електронних схем. Завдяки сучасним цифровим технологіям відбувається автоматизована конверсія аналогових сигналів у цифрову форму, що забезпечує швидку обробку та зручність під час експлуатації.

У даному розділі визначаємо вартісну оцінку розробленого пристрою. Спершу проведено оцінку витрат за допомогою методу укрупненого калькулювання, що базується на даних щодо закупівельних компонентів згідно з технічною специфікацією, для визначення якої складаємо перерахування елементів і виробів на основі відомості специфікацій (принципової схеми) по формі, приведеної в таблиці 2.1.

Таблиця 2.2. Калькуляція планової собівартості

| Найменування статті витрат | Значення статті, грн. | Розрахунок |
|--|-----------------------|--|
| 1. Сировина та матеріал | 322.55 | $V_m = \alpha_m * V_{пк/апи}$ $V_m = 0,2 * 999,9 / 0,62$ |
| 2. Комплектуючі вироби та покупні напівфабрикати | 999.9 | $V_{пк} = \text{см.табл.2.1}$ 999.9 |
| 3. Основна заробітна плата | 290.29 | $V_{оз} = \alpha_{озп} * V_{пк/апи}$ $V_{оз} = 0,18 * 999,9 / 0,62$ |
| 4. Додаткова заробітна плата | 116.12 | $V_{дз} = 0,4 * V_{оз}$ $V_{дз} = 0,4 * 290,29$ |
| 5. Відрахування о єдиного соцфонду | 89.41 | $V_{ес} = (V_{оз} + V_{дз}) * 0,22$ $V_{ес} = (290,29 + 116,12) * 0,22$ |
| 6. Загально-виробничі витрати | 261.26 | $V_{заг.вир} = (0,8 \dots 1,5) * V_{оз}$ $V_{заг.вир} = 0,9 * 290,29$ |
| 7. Виробнича собівартість | 2079.53 | $S_{вир} = \sum V = 322,55 + 999,9 + 290,29 + 116,12 + 89,41 + 261,26$ |
| 8. Адміністративні витрати | 62.79 | $V_a = V_{оз} * 0,3$ $V_a = 0,3 * 290,29$ |
| 9. Витрати на збут | 41.59 | $V_{зб} = S_{вир} * 0,02$ $V_{зб} = 2079,53 * 0,02$ |
| 10. Інші операційні витрати | 20.79 | $V_{оп} = S_{вир} * 0,01$ $V_{оп} = 2079,53 * 0,01$ |
| Повна собівартість | 2204.7 | $S_{пов.} = \sum Z$ $S_{пов.} = 2079,53 + 62,79 + 41,59 + 20,79$ |

Оскільки розроблюваний виріб належить до категорії радіоелектронного обладнання, при розрахунку собівартості враховано такі питомі показники:

- сировинні матеріали (α_m) – 20%,

- купівельні вироби та напівфабрикати ($\alpha_{рк}$) – 62%,
- основна заробітна плата ($\alpha_{озп}$) – 18%.

Розмір планового прибутку, це включається у ціну, визначаємо по формулі:

$$\Pi = (\text{Спов} * \rho) / 100\% = 2204.7 * 10 / 100 = 220.47 \text{ грн.} \quad (2.1)$$

де ρ – планова рентабельність продукції (10%...30%).

Оптову ціну виробу визначаємо по формулі:

$$Ц_о = \text{Спов} + \Pi = 2204.7 + 220.47 = 2425.17 \text{ грн.} \quad (2.2)$$

Ціну реалізації виробу встановлюємо із урахуванням ПДВ:

$$Ц_р = Ц_о + \Pi_з,$$

де $\Pi_з$ – податкове зобов'язання із ПДВ:

$$\Pi_з = Ц_о * 0,2 = 2425.17 * 0,2 = 485.03 \text{ грн.}$$

Звідси: $Ц_р = 2425.17 + 485,03 = 2910.2 \text{ грн.}$

За даними таблиці 2.2 отримана повна собівартість визначає загальні витрати на виробництво однієї одиниці продукції для розрахункового року. Далі пропонується прогноз обсягів продажів цієї продукції на етапі життєвого циклу, що позначається як «Виробництво», з розподілом прогнозованих продажів на протязі чотирьох років. Основні етапи виробничого процесу відображені на рис. 2.1.

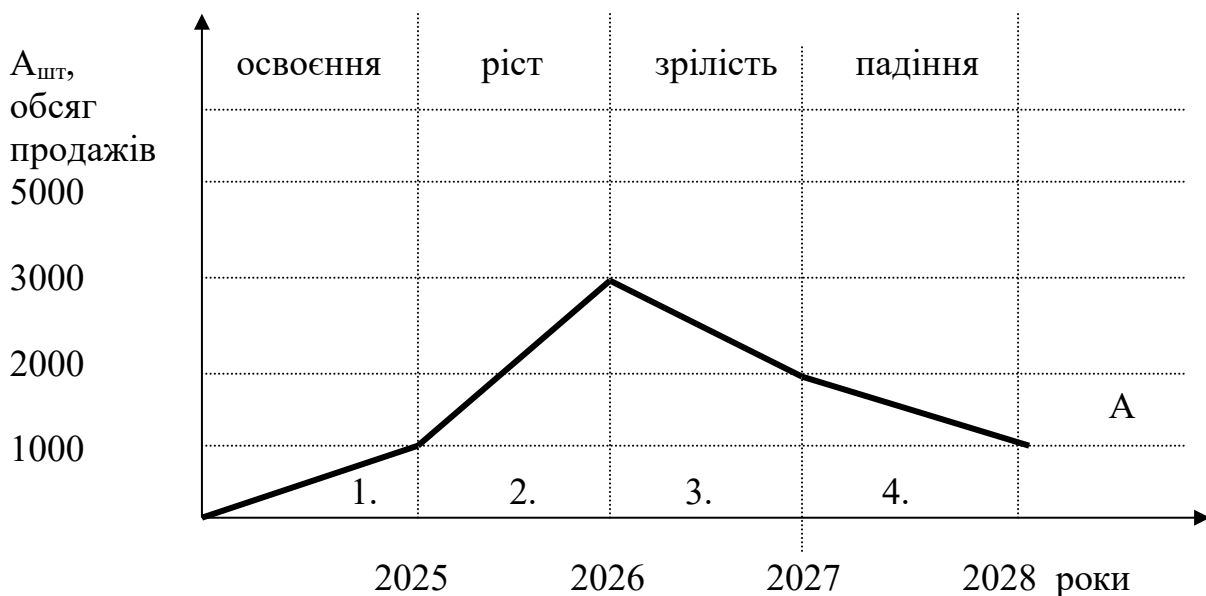


Рисунок 2.1. Роки та зони розрахункового періоду

На перший рік життєвого циклу товару прогнозується реалізація 1000 одиниць, що здійснюватиметься за передзамовленням.

При зростанні обсягів виробництва спостерігається ефект масштабування, який впливає на зменшення собівартості. Коригування витрат здійснюється за формулою:

$$C_{\text{пі}} = C_{\text{пі}} \left(\frac{A}{A_{i=1}} \right)^{0.23}, \quad (2.3)$$

Де A_i – обсяг продажів (виробництва) у 1 рік розрахункового періоду, шт.;

A_{i+1} – обсяг продажів (i+1)-го року, шт.;

0,23 – показник ступеня, це характеризує вплив росту обсягів виробництва на собівартість продукції.

Звідси випливає, це

$$C_{2026} = C_{2025} * (1000/3000)^{0.23} = 2204.7 * (1000/3000)^{0.23} = 1719.67 \text{ грн.}$$

При відсутності росту обсягів виробництва, тобто якщо обсяг продажів чи не змінюється чи зменшується у наступному році, витрати виробництва приймаються на рівні попереднього року.

$$C_{2028} = C_{2027} = C_{2026} = 1719.67 \text{ грн}$$

Плановий прибуток, це включається у оптову ціну підприємства, задля наступного року при збільшенні обсягу продажів, визначаємо по формулі:

$$P_{i+1} = C_{ni+1} * \frac{P}{100} \quad (2.4)$$

Звідси:

$$P_{2026} = P_{2027} = P_{2028} = 1719.67 * 0,1 = 171.96 \text{ грн.}$$

Оптову ціну підприємства у наступні роки розрахункового періоду визначаємо по формулі:

$$C_{o_{i+1}} = C_{ni+1} + P_{i+1} \quad (2.5)$$

Звідси:

$$C_{2026} = C_{2027} = C_{2028} = 1719.67 + 171.96 = 1891.63 \text{ грн}$$

Податкове зобов'язання визначається по формулі:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Pz_{i+1} = C_{O_{i+1}} * 0.2 \quad (2.6)$$

Звідси:

$$Pz_{2026} = Pz_{2027} = Pz_{2028} = 1891.63 * 0.2 = 378.33 \text{ грн.}$$

Ціну реалізації одиниці продукції у наступні роки визначаємо по формулі:

$$C_{P_{i+1}} = C_{O_{i+1}} + Pz_{i+1} \quad (2.7)$$

Звідси:

$$C_{p2026} = C_{p2027} = C_{p2028} = 1891.63 + 378.33 = 2269.96 \text{ грн.}$$

Вартісну оцінку результатів за розрахунковий період (P_T) визначаємо по формулі:

$$P_T = \sum_{i=t_p}^{t_k} A_i * C_{P_i} * \alpha_i \quad (2.8)$$

де t_p, t_k – відповідно розрахунковий і кінцевий рік розрахункового періоду;

C_{pi} – ціна реалізації в i -тім році, грн.;

A_i – обсяг продажів у i -тім році, грн.;

α_i – коефіцієнт, що включає фактор часу, тобто коефіцієнт приведення різночасних витрат і результатів до розрахункового року.

Для оцінки фінансової ефективності виробництва протягом 4 років застосовано метод приведення майбутніх доходів до поточної вартості за допомогою коефіцієнтів дисконтування.

Таблиця 2.3. Розрахунок вартісної оцінки результатів

| Найменування показника | Позначення | Розрахунок виробничого періоду | | | |
|--|---------------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|
| | | 1-й | 2-й | 3-й | 4-й |
| Обсяг продажів, шт | A_i | 1000 | 3000 | 2000 | 1000 |
| Ціна реалізації, грн. | C_{pi} | 2910.2 | 2269.96 | 2269.96 | 2269.96 |
| Вартісна оцінка результатів, млн грн. | $A_i * C_{pi}$ | 2.910 | 6.809 | 4,539 | 2,269 |
| Коефіцієнт, що враховує фактор часу | α_i | 0.91 | 0.83 | 0.75 | 0.68 |
| Вартісна оцінка результатів з урахуванням фактора часу, млн грн. | $A_i * C_{pi} * \alpha_i$ | 2,648 | 5,651 | 3,404 | 1,543 |

Виробництво дає змогу одержати дохід за 4 роки 13,246 млн. грн.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

3 РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Організація здорового та безпечного робочого середовища покладається на керівництво підприємств, установ і організацій. Адміністрація зобов'язана впроваджувати сучасні заходи з охорони праці, що сприяють запобіганню нещасних випадків і створенню оптимальних санітарно-гігієнічних умов, які, у свою чергу, знижують ризик виникнення професійних захворювань. Умови, в яких працює співробітник, безпосередньо впливають на його здоров'я, працездатність і всебічний особистісний розвиток.

При розробці тестеру для радіоелементів на основі мікроконтролера важливо врахувати специфіку виконання робіт, тому аналізуватиметься організація робочого місця для паяння.

3.1 Аналіз шкідливих та ризикових факторів

При проведенні паяльних робіт співробітники піддаються впливу низки шкідливих та небезпечних чинників, що виникають при використанні спеціалізованих інструментів. Серед основних факторів ризику слід відзначити:

- роботу з комп'ютерною та електротехнічною апаратурою,
- недостатню освітленість робочої зони,
- психоемоційні навантаження,
- високий рівень шуму,
- недостатню вентиляцію приміщення,
- порушення правил пожежної безпеки тощо.

3.2 Гігієнічні вимоги до виробничого середовища

Для безперебійного, безпечного та якісного виконання паяльних робіт необхідно суворо дотримуватись правил техніки безпеки та організувати робоче місце оптимальним чином. Це означає, що всі інструменти та матеріали для паяння мають бути систематизовано розміщені, а роботи виконувати у заздалегідь підготовлених зонах, де мінімізовано вплив зовнішніх факторів.

Параметри мікроклімату робочої зони повинні відповідати вимогам санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99).

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Рівень шуму має не перевищувати встановлених норм щодо виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99).

Допустимі показники вібрації на робочих місцях зумовлені державними санітарними нормами загальної та локальної виробничої вібрації (ДСН 3.3.6.039-99).

Вимоги до рівнів електромагнітних полів визначені державними санітарними нормативами і правилами, затвердженими наказом МОЗ України від 18.12.2002 № 476.

3.3 Вимоги до організації робочого місця працівника

Згідно зі ст. 13 Закону України «Про охорону праці» (від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ), роботодавець зобов'язаний забезпечити створення належних умов праці в кожному структурному підрозділі відповідно до чинних нормативно-правових актів та організувати лабораторні дослідження робочого середовища.

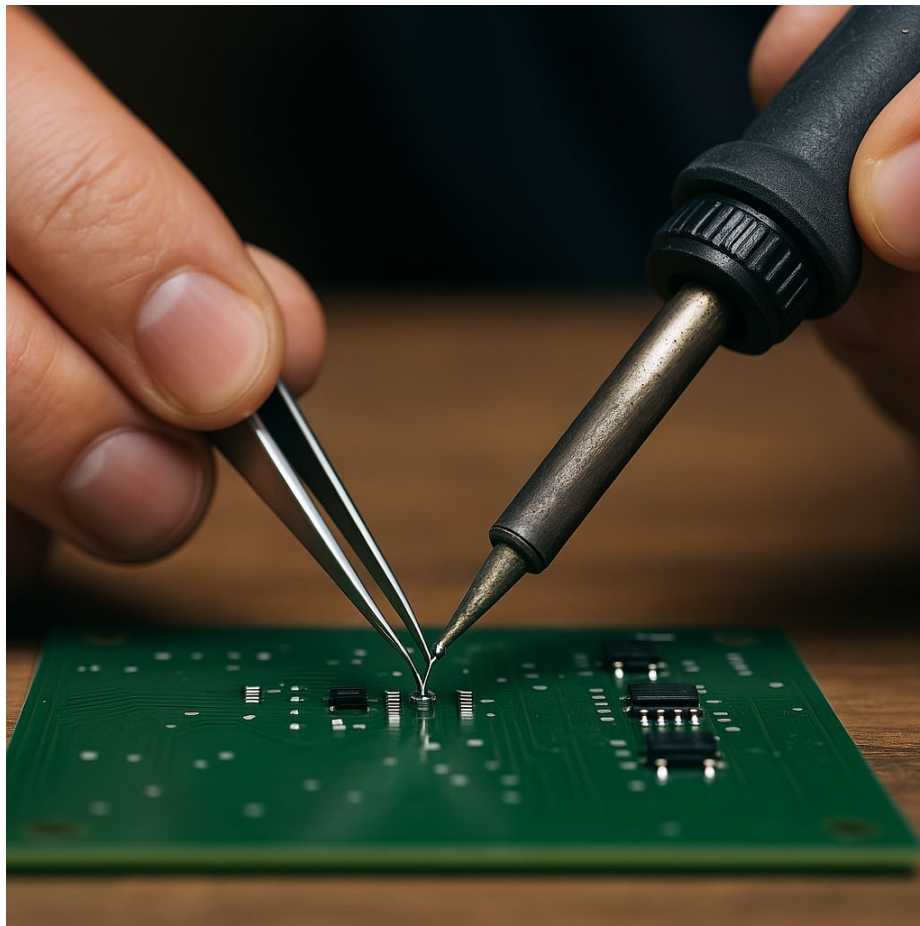


Рисунок 3.1. Процес паяння пристрою

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Паяння використовується для з'єднання заготовок зі сталі, кольорових металів і їх сплавів, а також для створення з'єднань із зазначених матеріалів. Найчастіше ця технологія застосовується в електромонтажних роботах, монтажі контрольно-вимірювальних приладів, виробництві радіо- та електроприладів, створенні теплових обмінників, а також у технологічних процесах, де використовують вироби з армованих пластин з твердих сплавів.

У виробничих приміщеннях концентрація шкідливих речовин не повинна перевищувати гранично допустимих значень, визначених відповідними стандартами (наприклад, ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартів безпеки праці. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони»).

Працівники, залучені до паяльних робіт, повинні мати забезпечення засобами індивідуального захисту, а також профілактичними засобами у вигляді захисних кремів, паст чи спеціального лікувально-профілактичного харчування.

Роботодавець повинен організувати:

Організувати проведення попередніх медичних оглядів (при прийнятті на роботу) та регулярних періодичних оглядів відповідно до затвердженого порядку МОЗ України (наказ від 21.05.2007 № 246).

Провести атестацію робочих місць за умовами праці відповідно до встановлених норм (відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 01.08.1992 № 442).

У разі необхідності розробити і впровадити заходи з мінімізації шкідливого впливу виробничих чинників на здоров'я співробітників.

3.4 Електробезпека

Обладнання, таке як персональні комп'ютери, периферійні пристрої, апаратура управління, контрольно-вимірювальні прилади та освітлювальні засоби, а також електропроводи і кабелі, мають відповідати класифікаційним вимогам за зоною застосування та бути обладнаними захисними елементами для запобігання коротким замиканням та іншим аварійним ситуаціям.

Лінія електропостачання для ПК і периферії повинна формувати окрему групову мережу з трьома провідниками: фазовим, робочим нульовим та захисним

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 68 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

нульовим. При цьому нульовий захисний провід використовується виключно для заземлення апаратів, а його функціональність не може дублювати робочий нульовий провід. Він прокладається окремо від робочої лінії від групового розподільника до електроживильних розеток, причому недопустиме підключення обох провідників до одного контактного затискача.

Основними причинами травмування електричним струмом є:

- прямий контакт з відкритими проводами,
- взаємодія з внутрішніми компонентами комп'ютера,
- використання несправного обладнання,
- відмова засобів захисту, з якими контактує користувач,
- непередбачене виникнення напруги через пошкодження ізоляції.

Для ефективного запобігання ураження струмом необхідно:

- суворо дотримуватись інструкцій з виконання робіт і правил експлуатації обладнання,
- забезпечувати недоступність частин пристроїв, що працюють під високою напругою, для оператора,
- використовувати високоякісні ізоляційні матеріали, товщина яких відповідає вимогам безпеки,
- підключати електроживлення через спеціально обладнані розетки з функцією занулення,
- розраховувати споживану потужність для запобігання перевантаженням,
- здійснювати надійне заземлення всіх металевих корпусів, доступних для оператора.

3.5 Пожежна безпека

Виробничі приміщення, технологічні установки та будівлі повинні бути обладнані першоджерельними засобами пожежогасіння, до яких належать:

- вогнегасники,
- контейнери з піском,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 69 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- негорючі покривала з теплоізоляційного матеріалу,
- високоміцні тканинні вироби тощо.

Ці засоби повинні відповідати нормативним вимогам, затвердженим документами з технологічного проектування та Правилами пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.О1.001-2014). Вогнегасники слід встановлювати в легкодоступних, добре помітних місцях (наприклад, в коридорах, біля входів та виходів або у зонах підвищеного ризику виникнення пожежі), захищаючи їх від прямого сонячного випромінювання та впливу опалювальних приладів. Розміщення вогнегасників має забезпечувати їхнє повне відкриття, причому вони встановлюються не вище 1,5 м від підлоги та на безпечній відстані від дверей.



Рисунок 3.2. Засоби пожежогасіння

Також засоби пожежогасіння (рис.3.2) не повинні заважати евакуації персоналу. Виробничі приміщення повинні забезпечуватись запасними виходами, а двері до них мають бути позначені зрозумілими освітленими написами, наприклад, «Запасний вихід». План евакуації повинен бути розміщений у видному місці біля основного виходу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 70 |

ВИСНОВКИ

Під час проектування розроблено достатньо точний, простий і надійний прилад для вимірювання ємності конденсаторів. Принципова електрична схема тестера включає всі необхідні компоненти для забезпечення точних вимірювань. Вибрані компоненти, такі як мікроконтролер PIC16F84A, компаратор LM311, стабілізатор напруги LP2951, комутатор CD4066 та LCD-дисплей HD44780, забезпечують високу стабільність вимірювань. Крім того, була створена модель друкованої плати у програмі Sprint-Layout розміром 60 мм на 73 мм. Плата забезпечує компактне розміщення всіх компонентів та мінімізацію довжини доріжок для зменшення перешкод.

Програмне забезпечення для мікроконтролера було розроблено мовою C, що дозволяє виконувати вимірювання ємності конденсаторів і виводити результати на РК-індикатор. Ретельна розробка програми у середовищі MPLAB X IDE забезпечила зручність програмування, налагодження та тестування коду. Описані детальні інструкції для налаштування і калібрування пристрою, що гарантує високу точність вимірювань та надійність роботи.

Розроблений тестер ємності електричних конденсаторів дозволяє не лише визначати працездатність компонентів, але і виконувати налаштування, тестування та калібрування різного типу електронних схем і модулів, включаючи технічні засоби обчислювальної техніки. Прилад може застосовуватися у польових умовах для технічних вимірювань, у сервісних центрах, майстернях та навчальних закладах. Визначені в результаті проектування властивості та технічні можливості окремих вузлів і блоків дозволяють визначити межі вимірювання у діапазоні від 0,01 пФ до 2000 мкФ з похибкою вимірювання біля 5%.

Подальший розвиток розробки приладу має здійснюватися шляхом створення модифікацій базової моделі, що відрізняються діапазонами вимірювання, точністю та елементною базою. При відповідній переробці вхідних ланцюгів принципової електричної схеми та програми мікроконтролера можна застосувати розроблений прилад як тестер інших радіоелементів, таких як дроселі, резистори, діоди, транзистори.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 71 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павловський О.М., Васильковська І.О. - Основи цифрової схемотехніки: Навчальний посібник. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 277 с.
2. Глазунов В.О., Шевчук С.С. - Мікроконтролери: основи програмування та застосування. - К.: Либідь, 2019. - 320 с.
3. Бобко Н.В., Громак В.П. - Аналогова та цифрова схемотехніка: Навчальний посібник. - Львів: ЛНУ, 2018. - 256 с.
4. Мартинович І.В., Петренко П.О. - Мікроконтролери та їх застосування. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - 364 с.
5. Коваленко О.В., Антонова О.І. - Прилади та методи вимірювань: Навчальний посібник. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 290 с.
6. Бондаренко В.Г. - Системи автоматизованого проектування: Підручник. - К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. - 289 с.
7. Лисиченко В.П. - Мікропроцесорні системи: Навчальний посібник. - Дніпро: ДНУ, 2021. - 278 с.
8. Шевченко В.О., Кравченко І.Г. - Програмування мікроконтролерів: Практикум. - Одеса: ОНПУ, 2021. - 285 с.
9. Кучеренко В.Г., Пономаренко С.І. - Мікроелектронні пристрої: Підручник. - Київ: Либідь, 2019. - 301 с.
10. Сергієнко Ю.О., Ткаченко М.В. - Проектування цифрових пристроїв: Навчальний посібник. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. - 298 с.
11. Шелест О.В., Бойко Д.М. - Електронні компоненти: Підручник. - Харків: ХНУРЕ, 2018. - 292 с.
12. Microchip Technology Inc. - Офіційний сайт з документацією та ресурсами для мікроконтролерів PIC: <https://www.microchip.com/>
13. EDN Network - Технічні статті та форуми з електроніки та схемотехніки: <https://www.edn.com/>
14. EEVblog - Форуми з електроніки, тестових приладів та вимірювань: <https://www.eevblog.com/forum/>

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | КС 58. 01 000. 00 ДП ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 72 |

ДОДАТОК А. Код програми мовою С для мікроконтролера

```
#include <xc.h> // Включення бібліотеки для мікроконтролера PIC
#define _XTAL_FREQ 4000000 // Визначення частоти кварц. генератора (4 МГц)

// Визначення пінів для роботи з LCD
#define RS RC0
#define EN RC1
#define D4 RC2
#define D5 RC3
#define D6 RC4
#define D7 RC5

// Визначення пінів для роботи з кнопками
#define SA1 RA0
#define SA2 RA1
#define SA3 RA2

// Функція встановлення окремих бітів даних для LCD
void Lcd_SetBit(char data_bit) {
    if(data_bit & 1)
        D4 = 1;
    else
        D4 = 0;
    if(data_bit & 2)
        D5 = 1;
    else
        D5 = 0;
    if(data_bit & 4)
        D6 = 1;
    else
        D6 = 0;
    if(data_bit & 8)
        D7 = 1;
    else
        D7 = 0;
}

// Функція для відправки команди на LCD
void Lcd_Cmd(char a) {
    RS = 0; // Встановлюємо RS в 0 для вибору регістру команд
    Lcd_SetBit(a); // Встановлюємо біти даних
    EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
    __delay_ms(4); // Затримка
    EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
}
```

```

// Функція очищення дисплея LCD
void Lcd_Clear() {
    Lcd_Cmd(0); // Відправляємо команду "очищення"
    Lcd_Cmd(1); // Відправляємо команду "очищення"
}

// Функція встановлення курсора на дисплеї LCD
void Lcd_Set_Cursor(char a, char b) {
    char temp, z, y;
    if(a == 1) {
        temp = 0x80 + b - 1; // Розрахунок адреси для першого рядка
        z = temp >> 4; // Старший тетрада
        y = temp & 0x0F; // Молодший тетрада
        Lcd_Cmd(z); // Відправка старшої тетради
        Lcd_Cmd(y); // Відправка молодшої тетради
    } else if(a == 2) {
        temp = 0xC0 + b - 1; // Розрахунок адреси для другого рядка
        z = temp >> 4; // Старший тетрада
        y = temp & 0x0F; // Молодший тетрада
        Lcd_Cmd(z); // Відправка старшої тетради
        Lcd_Cmd(y); // Відправка молодшої тетради
    }
}

// Функція ініціалізації LCD
void Lcd_Start() {
    Lcd_SetBit(0x00); // Скидання всіх бітів
    __delay_ms(20); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(5); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    __delay_ms(11); // Затримка для стабілізації
    Lcd_Cmd(0x03);
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x02);
    Lcd_Cmd(0x08);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x0C);
    Lcd_Cmd(0x00);
    Lcd_Cmd(0x06);
}

// Функція друку тексту на LCD
void Lcd_Print(char *a) {
    int i;
    for(i = 0; a[i] != '\0'; i++) { // Проходимо через всі символи рядка

```

```

    RS = 1; // Встановлюємо RS в 1 для вибору регістру даних
    Lcd_SetBit(a[i] >> 4); // Відправка старшого символу тетради
    EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
    __delay_ms(4); // Затримка
    EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
    Lcd_SetBit(a[i] & 0x0F); // Відправка молодшого символу тетради
    EN = 1; // Включаємо сигнал ENABLE
    __delay_ms(4); // Затримка
    EN = 0; // Вимикаємо сигнал ENABLE
}
}

```

```

// Функція ініціалізації АЦП
void init_ADC() {
    ADCON0 = 0x41; // Включаємо АЦП, канал AN0
    ADCON1 = 0x80; // Правосторонній результат
}

```

```

// Функція читання значення з АЦП
unsigned int ADC_Read(unsigned char channel) {
    ADCON0 &= 0xC5; // Очищуємо канал вибору
    ADCON0 |= (channel << 3); // Вибираємо канал
    __delay_ms(2); // Затримка для стабілізації каналу
    ADCON0 |= 0x04; // Запуск конверсії
    while(ADCON0 & 0x04); // Чекаємо завершення конверсії
    return (ADRESH << 8) + ADRESL; // Повертаємо результат
}

```

```

// Режим самокалібрування
void Calibration_Mode() {
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);
    Lcd_Print("Calibration");
    __delay_ms(2000); // Затримка для відображення повідомлення

    // Код для виконання самокалібрування
}

```

```

// Режим установки константи X1
void Constant_X1_Mode() {
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);
    Lcd_Print("Constant X1");

    // Код для установки константи X1
}

```

```

void main() {
    TRISA = 0x07; // Встановлення портів A0, A1, A2 як входу
    TRISB = 0x00;
    TRISC = 0x00;

    Lcd_Start();
    Lcd_Clear();
    Lcd_Set_Cursor(1, 1);

    init_ADC();

    while(1) {
        // Перевірка на натискання кнопок для різних режимів
        if (SA1 == 1 && SA2 == 1) {
            Calibration_Mode();
        } else if (SA3 == 1) {
            Constant_X1_Mode();
        } else {
            // Увімкнення джерела струму і зарядження конденсатора
            unsigned int adc_value = ADC_Read(0); // Читання АЦП на каналі 0
            float capacitance = (float)adc_value / 1024.0 * 5.0; // Розрахунок ємності

            Lcd_Clear();
            Lcd_Set_Cursor(1, 1);
            Lcd_Print("Capacitance");
            Lcd_Set_Cursor(2, 1);

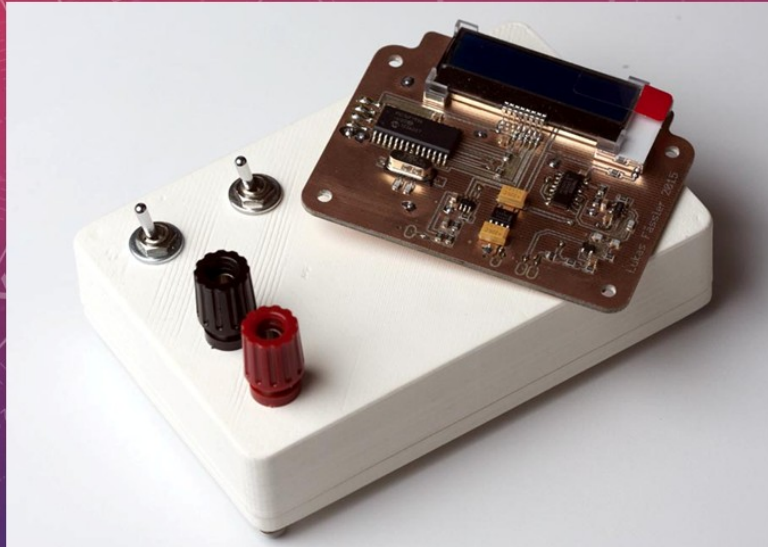
            char buffer[16];
            sprintf(buffer, "%4.2f uF", capacitance); // Форматування значення ємності
            Lcd_Print(buffer);

            __delay_ms(1000);
        }
    }
}

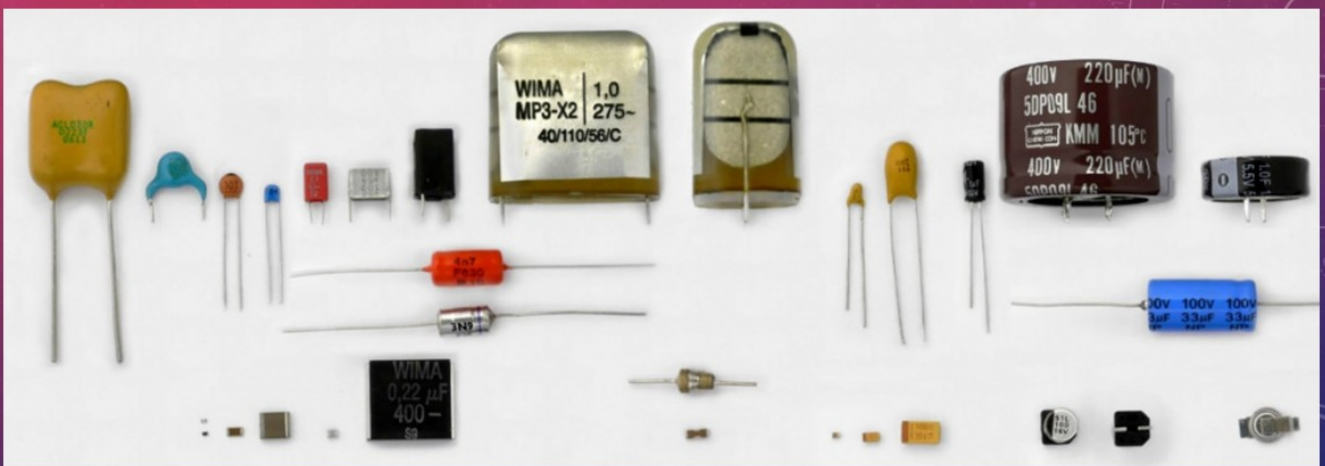
```

ДОДАТОК Б. Слайди мультимедійної презентації

Биченко Ілля, гр. 4КС-58



Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері



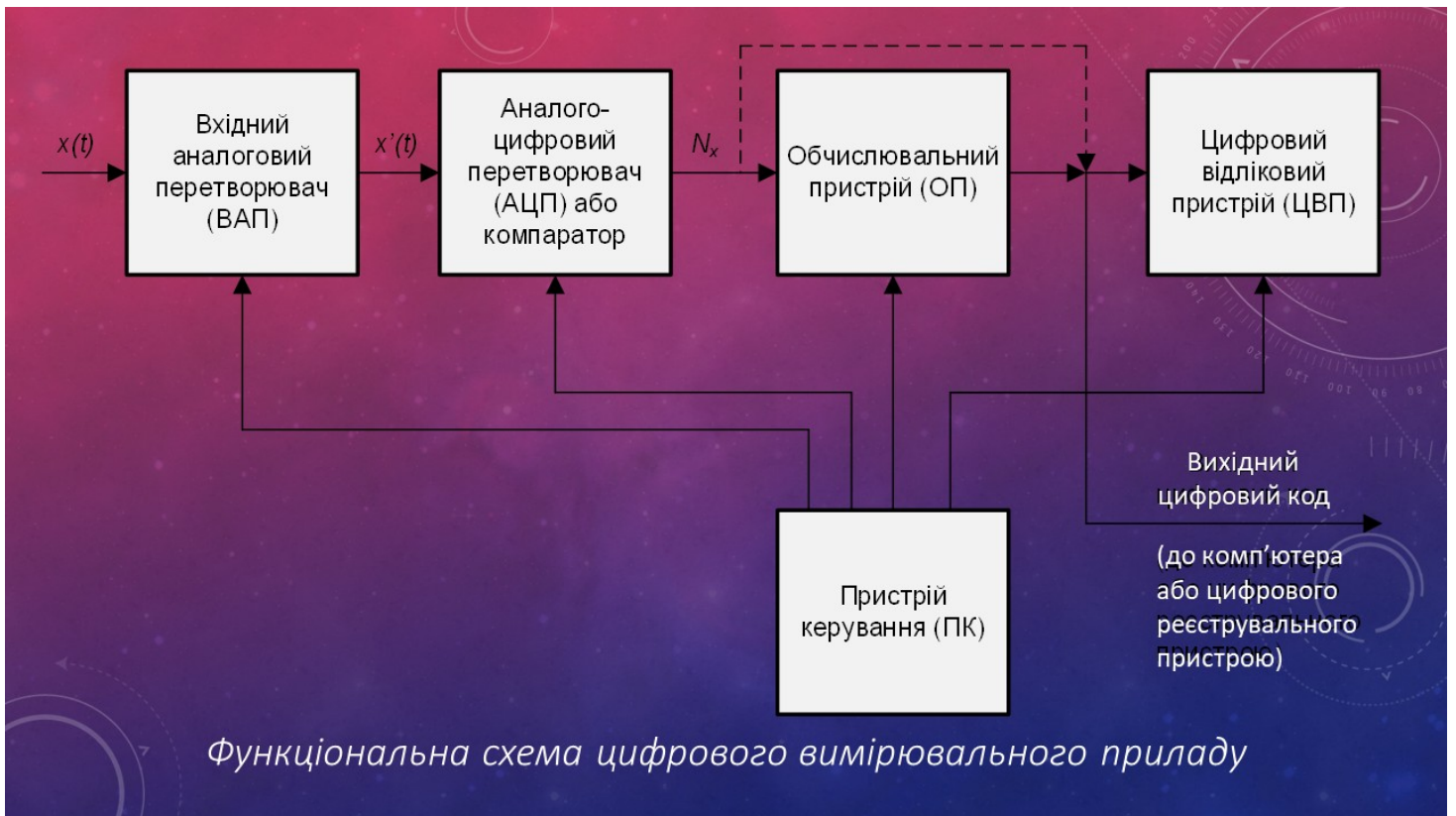
Деякі типи конденсаторів, які можна тестувати за допомогою розробленого приладу



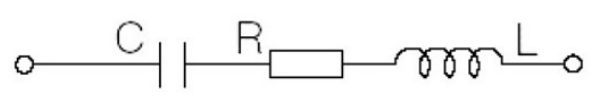
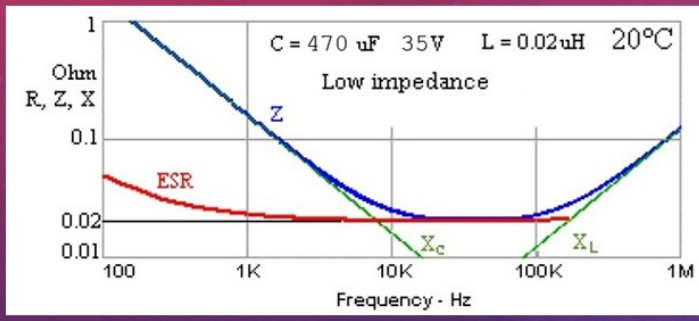
Існуючі тестери і вимірювачі ємності конденсаторів



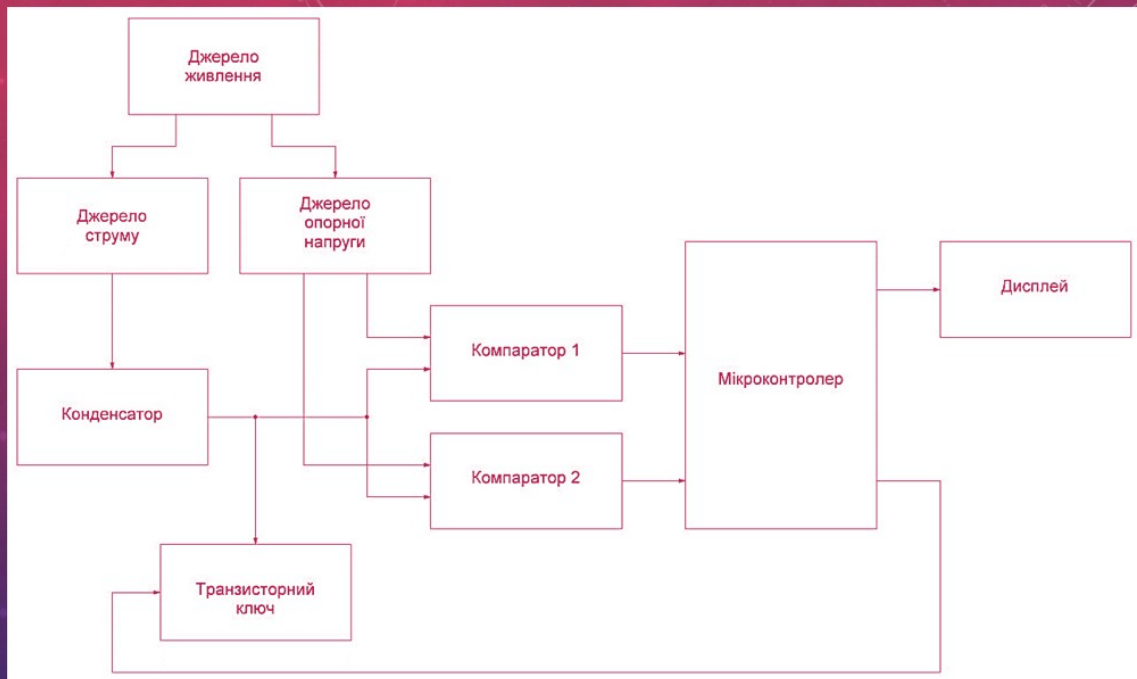
Загальна побудова цифрового вимірювального приладу



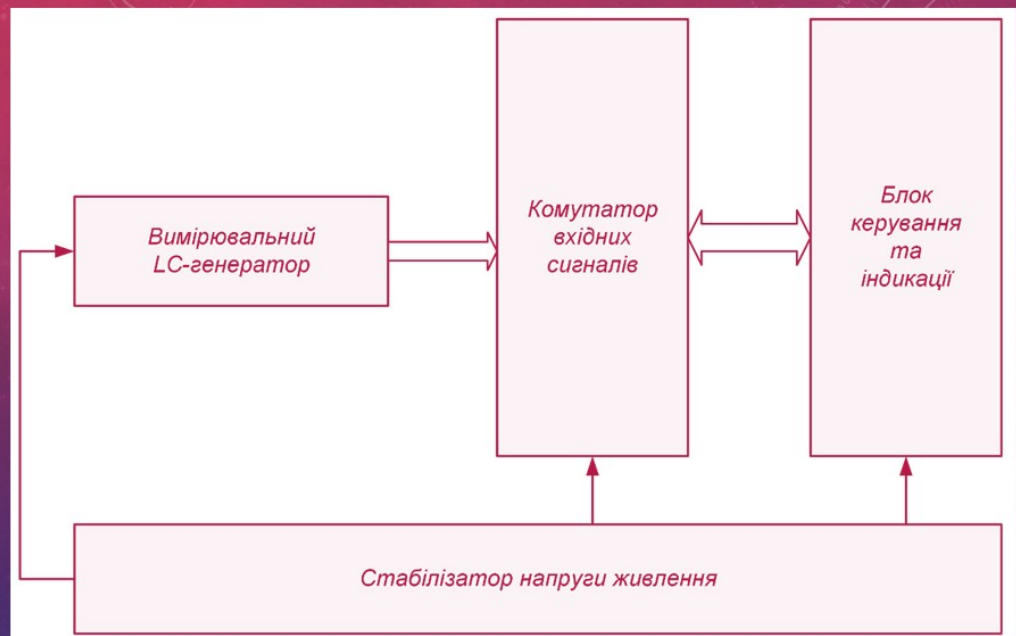
$$f = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$



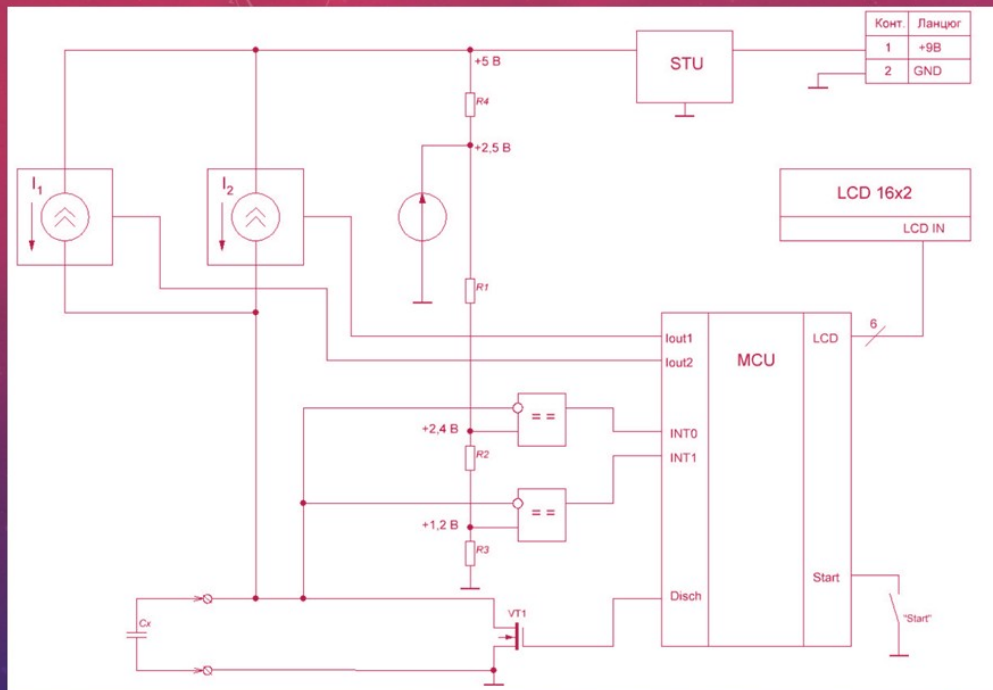
Схеми еквівалентного включення і параметрів ємності



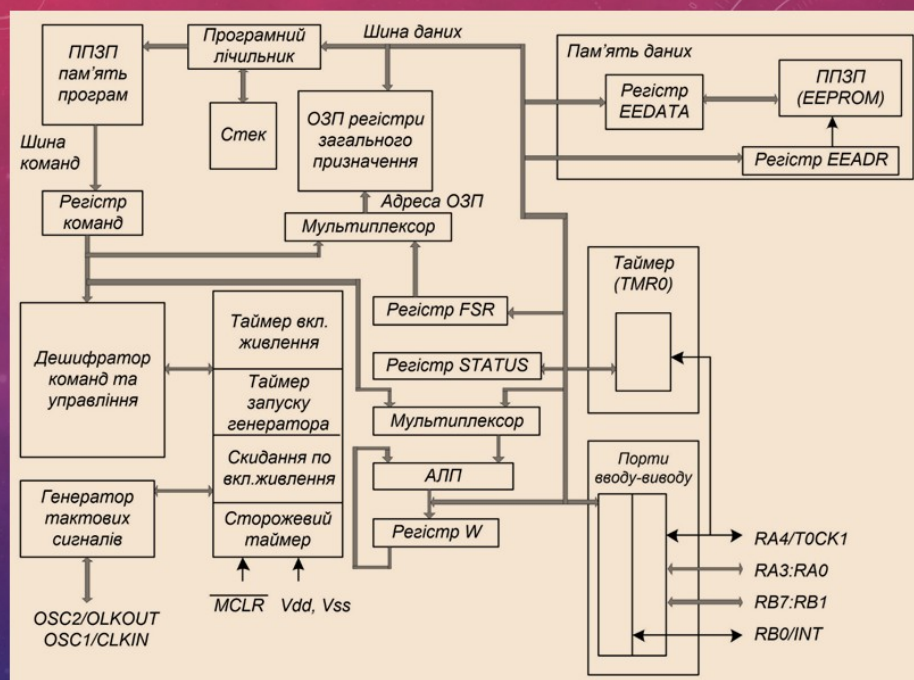
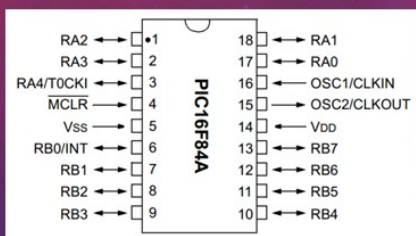
Структурна схема тестеру ємності електричних конденсаторів



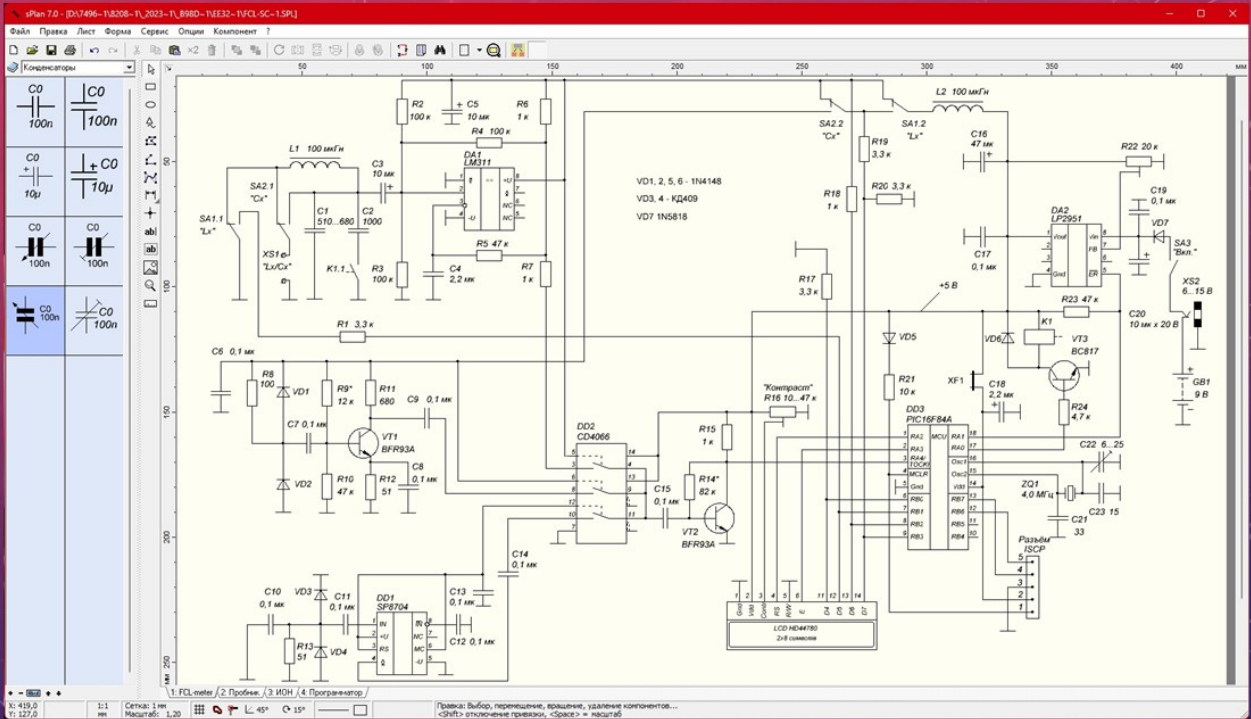
Модульна схема тестеру ємності електричних конденсаторів



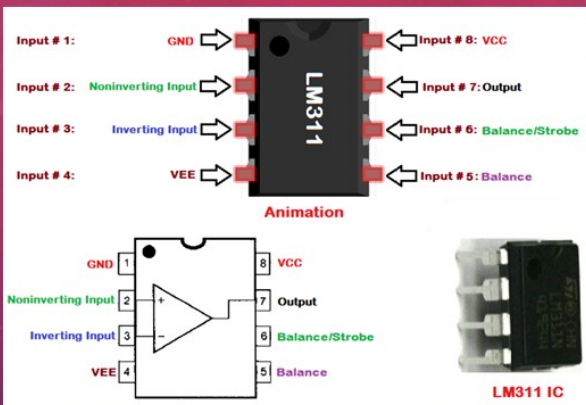
Функціональна схема тестеру ємності електричних конденсаторів



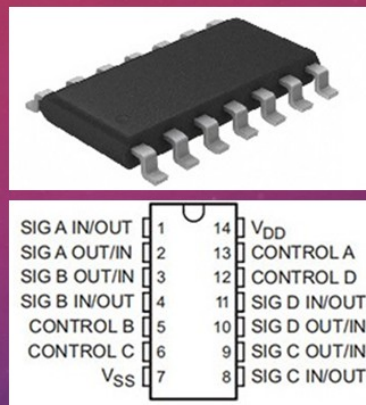
Діаграма мікроконтролера PIC16F84A



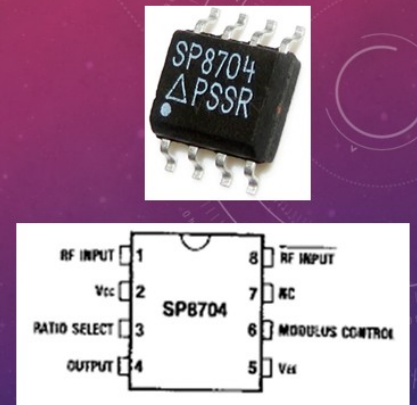
Принципова електрична схема тестеру конденсаторів у sPlan



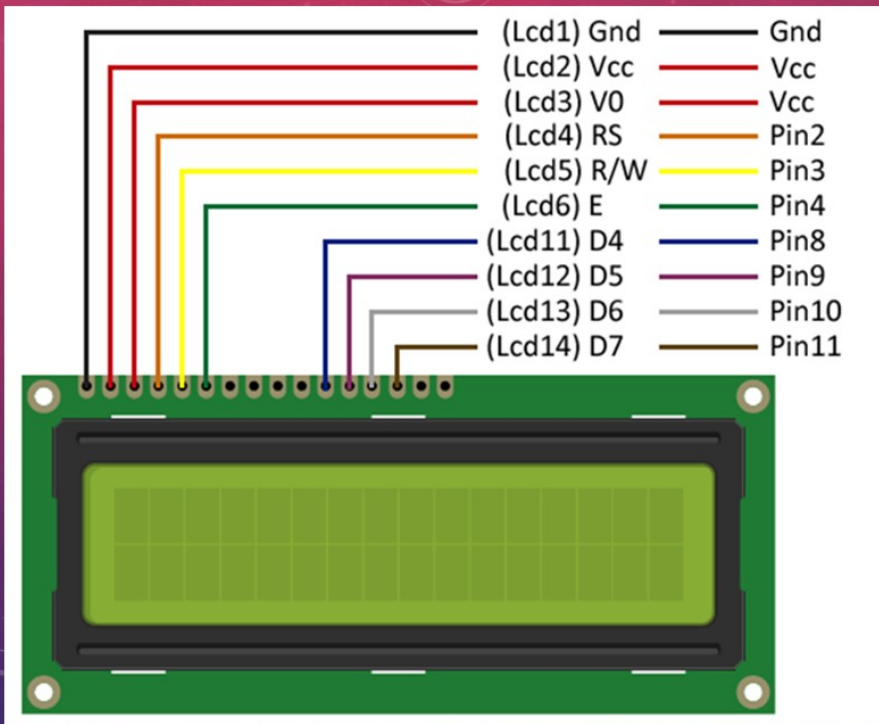
Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-компаратору LM311



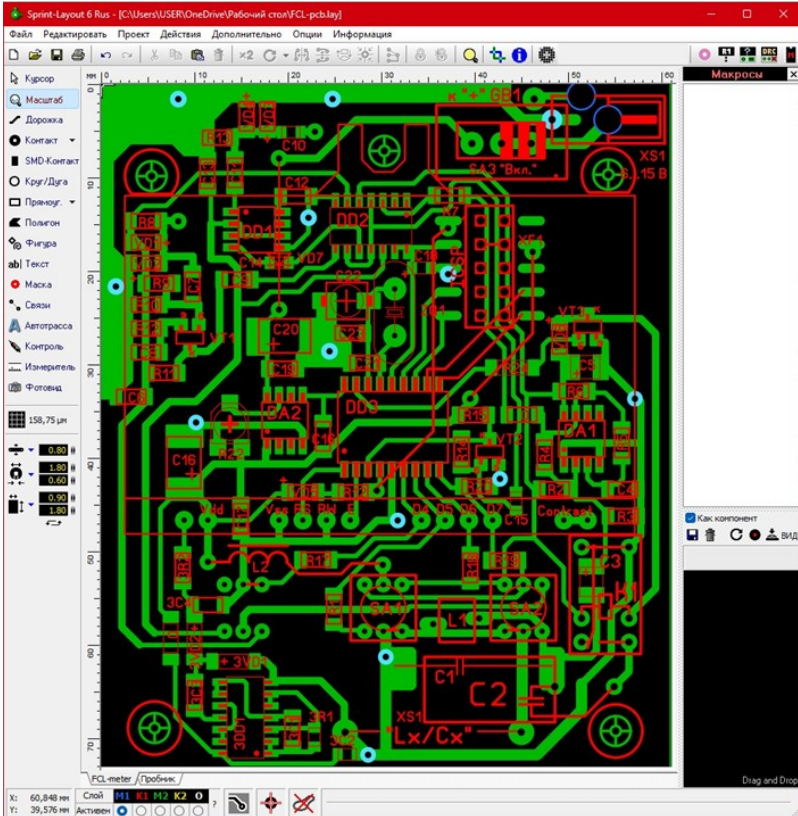
Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-комутатору CD4066



Контакти та зовнішній вигляд мікросхеми-прескалеру SP8704

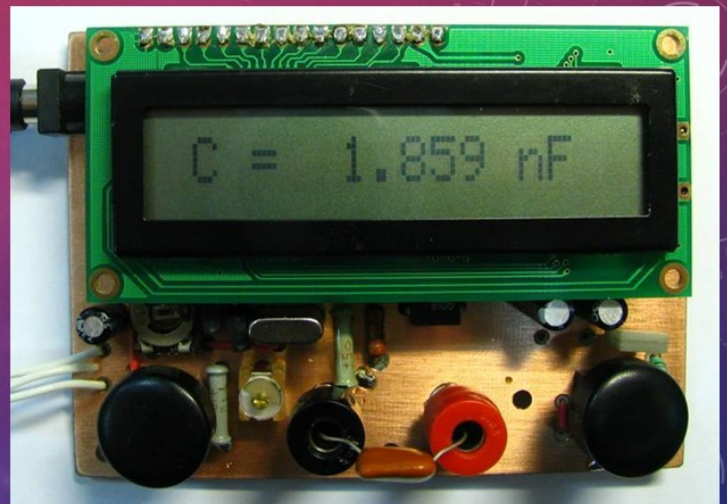
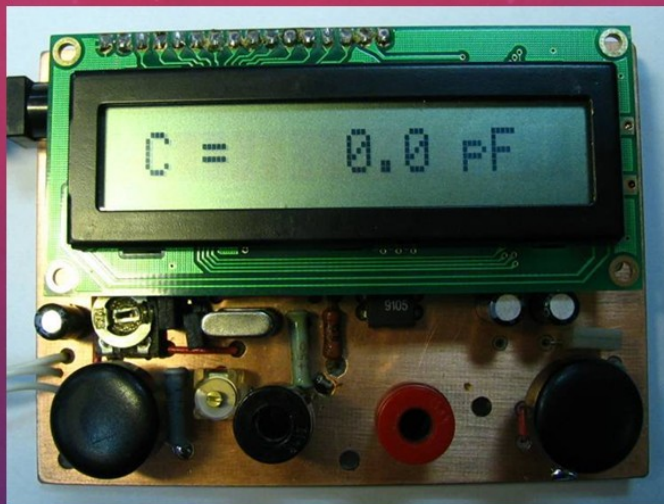
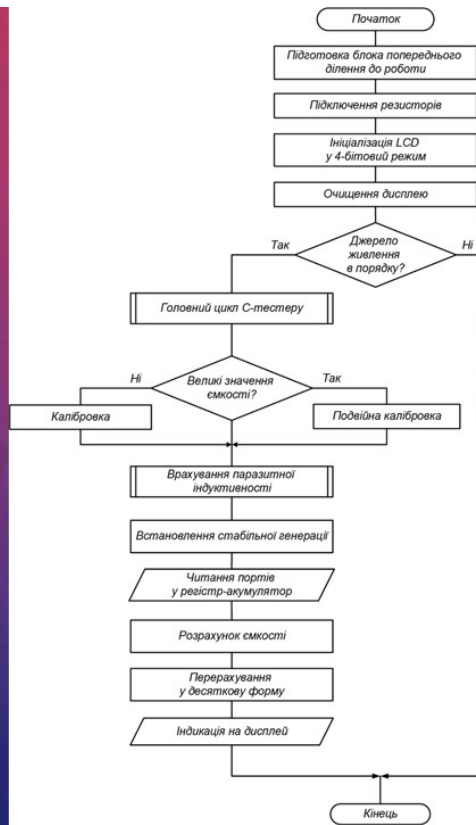


Контакти та зовнішній LCD-дисплею HD44780



Модель друкованої плати та монтажної схеми тестеру ємності електричних конденсаторів (САПР SprintLayout)

Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері



Експеримент з вимірювання ємності конденсатора 2.0nF

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект здобувача (здобувачки) освіти
відділення комп'ютерних систем

Биченка Іллі Валентиновича

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж»

Керівник дипломного проекту (роботи) Кривченко Анастасія Анатоліївна

(прізвище, ім'я та по батькові)

Тема дипломного проекту (роботи) Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки 84 сторінок

Обсяг графічної (презентаційної) частини 16 аркушів (слайдів)

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

а) заключення про ступінь відповідності виконаного дипломного проекту завданню

Представлений дипломний проект відповідає затвердженій темі та виконаний відповідно технічному завданню. Дипломний проект присвячений розробці тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері PIC16F84A, а також його програмного забезпечення, і складається з пояснювальної записки та мультимедійної презентації з відповідними схемами.

б) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту

Пояснювальна записка складається з основного розділу (Аналіз побудови ЦВП; Застосування методики визначення ємності; Розробка схеми тестеру; Вибір елементної бази; Реалізація принципової електричної схеми та моделі друкованої плати; Розробка блок-схеми алгоритму та програми для мікроконтролера; Налаштування пристрою; Інструкція користувача тестеру), економічного розділу, розділу охорони праці та додатків. Перелічені розділи поетапно охоплюють розробку, виконані докладно та обґрунтовано.

в) оцінка якості виконання пояснювальної записки та графічної частини дипломного проекту

Графічна частина складається з 16 слайдів мультимедійної презентації, виконаної у програмному продукті MS PowerPoint, які містять структурні, принципові та функціональні схеми, фото моделі тестеру, блок-схеми алгоритмів, передбачені технічним завданням. Пояснювальна записка виконана акуратно та у відповідності до норм. Якість виконання пояснювальної записки відмінна, розробку виконано у повному обсязі.

г) перелік позитивних якостей дипломного проекту Автор пояснив метод заряду-розряду, описав вплив ESR, паразитних ємностей, похибок та процедуру самокалібрування. Підбрано компонентну базу, що реально доступна. Користувач може сам обнулити ємність щупів, задати константи. Враховано заземлюючі "бус-бари", короткі доріжки високочастотної частини. Низьке споживання енергії пристроєм тестеру.

д) основні недоліки дипломного проекту Чутливий LC-генератор не захищений від дотику пальців; слід передбачити металевий екран або корпус. LCD 16×2 без підсвічення керується 8-бітно. Використано половину порту, хоча можна 4-бітним режимом зберегти виводи для майбутніх функцій. Маркетинговий прогноз продажів умовний - в таблиці закладено 1000-3000 шт./рік без підтвердження ринку

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Оцінка розрахункової частини | <u>Відмінно</u> |
| Оцінка графічної частини | <u>Відмінно</u> |
| Загальна оцінка | <u>Відмінно</u> |

Прізвище, ім'я, по батькові рецензента к.т.н. Шибасєва Наталя Олегівна

Місце роботи і посада рецензента Національний університет «Одеська політехніка»,
доцент кафедри інформаційних технологій

Підпис: 
« 20 червня 2025 р.

ВІДГУК

керівника на дипломний проект здобувача (здобувачки) освіти
відділення комп'ютерних систем

Биченка Іллі Валентиновича

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність: 123 "Комп'ютерна інженерія"

Освітньо-професійна програма: «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж»

Тема дипломного проекту: Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

а) обсяг і якість виконання проекту (графічного матеріалу і розрахунково-пояснювальної записки) Дипломний проект виконано відповідно технічному завданню.

Пояснювальна записка містить 84 сторінки. У пояснювальній записці виконано опис етапів розробки тестеру для визначення ємності конденсаторів на базі мікроконтролера, а також його програмного забезпечення. Графічна частина складається з 16 слайдів мультимедійної презентації, які також містять креслення, передбачені технічним завданням. Якість виконання пояснювальної записки та графічної частини добра, розробку виконано в повному обсязі.

б) самостійність роботи над проектом: Протягом всього строку дипломного проектування та переддипломної практики здобувач освіти Биченко І.В. поступово та послідовно виконував всі етапи розробки. Всі роботи здобувач освіти виконував самостійно, з оглядом на рекомендації керівника

в) теоретична підготовка випускника (випускниці): Здобувач освіти Биченко І.В. під час роботи над дипломним проектом вивчив достатню кількість літературних джерел та матеріалів за даною тематикою.

Вважаю, що теоретична підготовка дипломника добра і він готовий до захисту дипломного проекту

г) вміння розв'язувати виробничі та конструкторські питання _____
Під час дипломного проектування здобувач освіти Биченко І.В. мав змогу самостійно приймати окремі рішення з реалізації принципової електричної схеми пристрою та показав вміння організовано працювати над поставленим завданням, скласти креслення та розрахунки за допомогою сучасних комп'ютерних програмних засобів та САПР, таких як NI Multisim, Sprint-Layout, S-Plan

| | |
|------------------------------------|-----------------|
| Оцінка розрахункової частини _____ | <i>Відмінно</i> |
| Оцінка графічної частини _____ | <i>Добре</i> |
| Загальна оцінка _____ | <i>Відмінно</i> |

Прізвище, ім'я, по батькові керівника дипломного проекту _____
Кривченко Анастасія Анатоліївна

Місце роботи і посада керівника дипломного проекту _____
*ВСП "Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ", викладач
спецдисциплін комісії комп'ютерних технологій та програмної інженерії,
голова обласної методичної комісії викладачів комп'ютерної інженерії*

Підпис _____ 

«16» 06 2025 р.

**ДОЗВІЛ
НА РОЗМІЩЕННЯ
ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
(ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ)
В ЕЛЕКТРОННОМУ РЕПОЗИТАРІЇ ВСП «ОТФК ОНТУ»**

Ми, що нижче підписалися,

Биченко І.В.,

здобувач освіти гр. 4КС-58, та

Кривченко А.А.,

керівник дипломного проекту,

не заперечуємо щодо розміщення електронного варіанту пояснювальної записки до дипломного проекту фахового молодшого бакалавра на тему:

«Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері» (автор роботи – Биченко І.В., керівник роботи – Кривченко А.А.)

виконаного у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету» в 2025 році, у повному обсязі в електронному репозитарії ВСП «ОТФК ОНТУ» для вільного доступу через мережу Інтернет.

Несемо відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів випускної кваліфікаційної роботи і даємо згоду на обробку персональних даних.

Виконавець



/ Биченко І.В. /

Керівник

/ Кривченко А.А. /

«16» червня 2025 р.

Д О В І Д К А

циклової комісії КТ та ПІ
про допуск до захисту дипломного проекту
здобувача (здобувачки) освіти ІV курсу
відділення комп'ютерних систем групи 4КС-58

Биченка Іллі Валентиновича

на тему Розробка тестеру ємності електричних
конденсаторів на мікроконтролері


Висновок відповідальної особи за проведення нормоконтролю:
пояснювальна записка до дипломного проекту виконана з несуттєвими
порушеннями ДСТУ та оформлена відповідно до вимог Положення про
дипломне проектування


(підпис)

16.06.2025
(дата)

Петрашова В.І.
(П.І.Б.)

Висновок відповідальної особи за перевірку роботи на наявність академічного
плагіату згідно звіту про перевірку від 18.05.2025 р. значення коефіцієнту
подібності в роботі становить 20,09%, коефіцієнт цитування – 0,85%.


(підпис)

16.06.2025
(дата)

Краснокутська К.Г.
(П.І.Б.)

Попередня експертиза (малий захист) дипломного проекту

здобувача (здобувачки) освіти

Биченка І.В.
(П.І.Б.)

проведена « 16 » червня 2025 р.

Висновки Пояснювальна записка до дипломного проекту виконана у повному
обсязі. Випускна кваліфікаційна робота (дипломний проект) відповідає
вимогам Положення про дипломне проектування та рекомендована до
захисту.

Голова ЦК КТ та ПІ


(підпис)

Кривченко Ю.В.
(П.І.Б.)

Звіт подібності

метадані

Назва організації

Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology

Заголовок

Розробка тестеру ємності електричних конденсаторів на мікроконтролері

Автор

Науковий керівник / Експерт

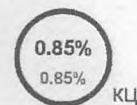
Биченко Ілля Валентинович Кривченко Анастасія Анатоліївна

Підрозділ

Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету"

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

15145

Кількість слів

118923

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підготувати до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

| | | |
|------------------------|--|-----|
| Заміна букв | | 37 |
| Інтервали | | 0 |
| Мікропробіли | | 63 |
| Білі знаки | | 2 |
| Парафрази (SmartMarks) | | 225 |

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копієр тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

| 10 найдовших фраз | | Копієр тексту |
|-------------------|---|--|
| ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР | НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ) | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
| 1 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 78 0.52 % |
| 2 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/8999d5af-6274-44f4-ae78-d23e08048d38/download | 62 0.41 % |
| 3 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e72a3b9-bdd7-4711-a3c6-dedc1d4287cc/download | 57 0.38 % |
| 4 | https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/44c16132-5f53-48e2-b6c0-61e9a2f0fd75/content | 52 0.34 % |
| 5 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 47 0.31 % |

| | | |
|----|---|-----------|
| 6 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/b1c4b329-c3e8-4b5a-a1fc-ae232ec677bd/download | 41 0.27 % |
| 7 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/6cf43324-8f08-4031-ba42-f80b18efbbc8/download | 39 0.26 % |
| 8 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 36 0.24 % |
| 9 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 33 0.22 % |
| 10 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 32 0.21 % |

з домашньої бази даних (0.91 %)

| ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР | ЗАГОЛОВОК | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|--|---|
| 1 | Розробка цифрового вольтметра-індикатору на базі мікроконтролера 5/16/2025 Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology (Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету") | 138 (13) 0.91 % |

з програми обміну базами даних (0.09 %)

| ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР | ЗАГОЛОВОК | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|---|---|
| 1 | Відновлення деталей та ремонт понтонних мостів 5/22/2019 National University Chernihiv Politechnika (NUCP) 2 (Наукова бібліотека) | 13 (1) 0.09 % |

з Інтернету (19.10 %)

| ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР | ДЖЕРЕЛО URL | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|---|---|
| 1 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/84904/1/Lisovenko_bak_rob.pdf | 1099 (68) 7.26 % |
| 2 | https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a05c07c5-bf65-4cb0-bdfa-e28694707551/content | 539 (51) 3.56 % |
| 3 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e72a3b9-bdd7-4711-a3c6-dedc1d4287cc/download | 185 (10) 1.22 % |
| 4 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/8999d5af-6274-44f4-ae78-d23e08048d38/download | 151 (10) 1.00 % |
| 5 | https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/90826/1/Lisovenko_mag_rob.pdf | 124 (16) 0.82 % |
| 6 | https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c5cd348b-fc64-4a25-9a5b-6cc8d62db909/content | 100 (8) 0.66 % |
| 7 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/6cf43324-8f08-4031-ba42-f80b18efbbc8/download | 87 (3) 0.57 % |
| 8 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/55e2b8f2-7d3c-4235-99fc-2be51199b96d/download | 73 (9) 0.48 % |
| 9 | https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/44c16132-5f53-48e2-b6c0-61e9a2f0fd75/content | 58 (2) 0.38 % |
| 10 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/b1c4b329-c3e8-4b5a-a1fc-ae232ec677bd/download | 48 (2) 0.32 % |
| 11 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/21173711-5b67-4b87-b17f-6302c25e7a31/download | 46 (2) 0.30 % |
| 12 | https://gmi.nmu.org.ua/ua/nauka/Publications/2015/man/%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%B2.pdf | 45 (4) 0.30 % |
| 13 | https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/11562741-24e6-4201-bc41-a00c8013fca1/download | 45 (6) 0.30 % |

