

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Володимир ШУТКО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»  
ОПП «ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

**Тема:** «Вимірювач ємності з підсиленням захистом»

Виконавець:  
студент групи МН305Б-стн Горбаченко Кирил Юрійович ПІБ

Керівник:  
к.т.н. доцент \_\_\_\_\_ Морозова І.В.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Сініцин Р.Б.

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, РОБОТОТЕХНІКИ І  
ТЕХНОЛОГІЙ  
МОНІТОРИНГУ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ  
153 «МІКРО- ТА НАНОСИСТЕМНА ТЕХНІКА»,  
ОПП «ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ Володимир ШУТКО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

### ЗАВДАННЯ

#### на виконання кваліфікаційної роботи

#### ПІБ

Горбаченко Кирил Юрійович

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Вимірювач ємності з підсиленням захистом» затверджена наказом ректора від «23» березня 2023 р. № 387/ст.
2. Термін виконання роботи: з «23» березня 2023р. по «21» травня 2023р.
3. Вихідні дані до роботи: Вимірювач ємності з підсиленням захистом
4. Зміст пояснювальної записки: 1 Теоретичні основи розробки, 2 Вибір технічних засобів, 3 Апаратно-програмна реалізація.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстрованого) матеріалу: таблиці, рисунки, зображення сенсорів, модулів, пристрою, код програми.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1.	Затвердження теми бакалаврської роботи	23.03.2023р	
2.	Вивчення літератури	24.03.2023р.- 03.04.2023р.	
3.	Теоретичні основи розробки	04.04.2023р.- 09.04.2023р.	
4.	Вибір технічних засобів	10.04.2023р.- 22.04.2023р.	
5.	Апаратно-програмна реалізація	23.04.2023р.- 14.05.2023р.	
6.	Оформлення та усунення недоліків кваліфікаційної роботи	15.05.2023р.- 21.05.2023р.	

Дата видачі завдання: «23» березня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Морозова І.В.  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис випусника)

Бутович А.О.  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Вимірювач ємності з підсиленням захистом» містить: 49 сторінок, 7 рисунків, 13 таблиць, 18 використаних джерела.

**Актуальність теми** - вимірювання ємності конденсаторів залишається важливим процесом в електроніці, електротехніці та суміжних галузях. Ось декілька причин, чому ця тема є актуальною:

Промислові застосування: Вимірювання ємності конденсаторів має велике значення в промислових секторах, таких як енергетика, автомобільна промисловість, телекомунікації та багато інших. Контроль якості і ефективність роботи електронних систем залежить від точного вимірювання ємності конденсаторів.

Ремонт та обслуговування: При виявленні несправностей у пристроях і системах, які використовують конденсатори, вимірювання ємності допомагає виявити пошкоджені або вичерпані конденсатори. Це дозволяє вчасно виконати ремонт або заміну, що допомагає підтримувати нормальну роботу системи.

**Мета роботи** – основною метою цієї роботи є розробка ефективного та точного вимірювача ємності конденсаторів, який забезпечує надійність і точність вимірювання ємності в різних промислових та наукових застосуваннях.

**Об'єкт дослідження** є самі конденсатори, а також методи і засоби вимірювання їх ємності.

Матеріали даної кваліфікаційної роботи можуть бути використані в наукових дослідженнях та навчальному процесі, а також у практичній діяльності.

Ключові слова: вимірювач ємності, конденсатор, електроніка, електротехніка, методи вимірювання, точність вимірювання, надійність вимірювача, фізичні властивості конденсаторів, електричні параметри конденсаторів, мостові схеми, резонансні методи.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ .....	7
ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ .....	9
1.1. Постановка задачі .....	9
1.2. Вибір елементної бази .....	10
1.3. Історія розробки розробки приладів вимірювання ємності .....	14
2 . Розрахунки приладу .....	15
2.1. Електричний розрахунок кварцевого резонатору .....	15
2.2. Проектування друкованої плати .....	17
2.3. Остаточний розрахунок надійності РЕА за раптовими відмовами .....	30
3. Апаратно програмна реалізація .....	44
ВИСНОВОК .....	48
ПЕРЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	48

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- РС - Резонансний метод вимірювання ємності
- ЦВМ - Цифровий вимірювач ємності
- БК - Бриджевий вимірювач ємності
- КФ - Кількісний фактор
- МФ - Містковий фактор
- ДП - Діелектрична проникність
- НК - Номінальна ємність конденсатора
- ФВ - Функціональна верифікація
- НВ - Напірна висота
- ЕСР - Еквівалентний серійний опір
- ТСВ - Точність свідчень вимірювача
- ЛШВ - Лінійність шкали вимірювача
- СФП - Середня фактична похибка
- ЧСФП - Частотна середня фактична похибка
- ЧПЗ - Частота перевірки засобів
- ВЧ - Висока частота
- ПЗ - Періодичність засобу
- ВІС - Величина інтервалу свідчень

## ВСТУП

Вимірювач ємності з підсиленням захистом один з найбільш необхідних приладів для будь-якого радіоінженера, особливо для тих хто займається ремонтом різного роду радіотехніки. Недорогі вимірювачі мають низку недоліків, один з них, Відсутній або недостатній захист від підключення Відсутній або недостатній захист від підключення зарядженого конденсатора до входу обладнання. Отже було вирішено спроектувати прилад, який був би в тій самій цінній категорії, та міг вирішити основні проблеми недорогих вимірювачів ємності. Основні можливості описуваного приладу: вимір ємності ЕРС конденсаторів без випаювання їх зі схеми, малий струм в робочому режимі і перехід в сплячий режим, досконалий захист від підключення зарядженого конденсатора.

Проектуємий прилад розроблюється з метою встановлення принципового конструктивного рішення, що дасть загальне уявлення про конструкцію пристрою, яка буде задовольняти усім вимогам. Необхідно прийняти конструктивні рішення стосовно вибору елементної бази, зовнішньої, внутрішньої компоновок, провести розрахунки оригінальних вузлів для підтвердження, виконання системи являє собою ряд основних креслень, які забезпечують вичерпне уявлення про влаштування та функціонування пристрою.



## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ

### 1.1. Постановка задачі

Задача полягає в розробці та вдосконаленні вимірювача ємності конденсаторів, який забезпечує точне, швидке та надійне вимірювання ємності конденсаторів у різних промислових та наукових застосуваннях.

Конкретні аспекти задачі можуть включати:

Розробка нових методів вимірювання ємності конденсаторів, що дозволяють підвищити точність і надійність вимірювання.

Визначення оптимальних параметрів вимірювача ємності, таких як частота змінної напруги, діапазон вимірювання, чутливість та допустима похибка.

Розробка алгоритмів обробки сигналу, які дозволяють коректно вимірювати ємність конденсатора навіть при наявності шумів та перешкод.

Проведення експериментальних випробувань розробленого вимірювача ємності для оцінки його ефективності та порівняння з існуючими методами.

Аналіз впливу факторів, таких як температура, вологість, діапазон частот, на точність і стабільність вимірювача ємності.

Розробка рекомендацій щодо використання розробленого вимірювача ємності конденсаторів у різних сферах, таких як електроніка, енергетика, автомобільна промисловість тощо.

Мета поставленої задачі полягає в створенні вимірювача ємності конденсаторів, який буде відповідати вимогам точності, швидкості та надійності вимірювання ємності у різних практичних ситуаціях.

## 1.2. Вибір елементної бази

### 1.2.1 Обґрунтування вибору індикаторів.

FYQ-3641ВН призначений для візуального відображення інформації.

Відносно не дорогий, не великих розмірів.

Технічні характеристики FYQ-3641ВН:

- кількість сегментів в розряді 7;
- кількість розрядів 4;
- колір поляризатора - червоний;
- тип контактів – жорсткий;

### 1.2.2 Обґрунтування вибору мікросхем.

Мікросхема PIC16F873A-I/SP – контактний мікроконтролер зі встроєним АЦП та покращеною флеш-пам'яттю.

Електричні параметри PIC16F873A-I/SP:

- напруга живлення не більше 5В;
- кількість аналогових/цифрових портів, 5/5;
- інтерфейси: I2C, SPI, USART;
- кількість таймерів: 3;
- розмір ОЗУ: 192 В;
- розмір ПЗУ: 128 В;
- розрядність АЦП: 10 біт;
- максимальна тактова частота: 20 МГц;
- робоча температура від -40 до +85 ° С.

1.2.3 Мікросхема TL431АСР одна з найкращих стабілізаторів, має тепловий захист, а також вбудовану систему яка запобігає від перевантажень по струму.

Технічні характеристики стабілізатора TL431АСР:

- вхідна напруга від 3 до 7 В;
- вихідна напруга від 3 до 5,5 В;
- вихідний струм (максимальний) 100 мА;

- робоча температура від -40 до +125 ° С.

1.2.4 Мікросхема LM358N Два незалежних малопотужних операційних підсилювача з високим коефіцієнтом підсилення в одному корпусі. Підсилення і частотною компенсацією. Відрізняється низьким споживанням струму. Обирається через найкращі характеристики серед аналогів.

Технічні характеристики LM358N:

- напруга живлення 3-32 В ;
- споживчий струм 0,7 мА;
- коефіцієнт гармонічного спотворення 0,02%;
- максимальна розсіювана потужність 0,25 Вт;
- робоча температура від -10 до +70 ° С.

1.2.5 Мікросхема XC6206P33MR - стабілізатор напруги виконаний в корпусі SOT 89. Має невеликі габарити.

Технічні характеристики стабілізатора XC6206P33MR:

- вхідна напруга від 2 до 5 В;
- вихідна напруга від 2 до 4,5 В;
- вихідний струм (максимальний) 50 мА;
- робоча температура від -40 до +85 ° С.

1.2.6 Обґрунтування вибору діодів.

1N5817 - діод Шотткі виконаний у пластмасовому корпусі з гнучними выводами.

Технічні характеристики діода 1N5817:

- максимальна постійна зворотна напруга 40 В;
- максимальний прямий струм 1 А;
- постійна пряма напруга 0,6 В;
- постійний зворотний струм 1000 мА;
- діапазон робочих температур від -45 до 120 °С

1.2.7 Діоди HER508 кремнієвий, епітаксійно-планарний. Призначені для застосування в імпульсних пристроях.

Електричні параметри HER508:

- максимальна постійна зворотна напруга 10 В;
- максимальний прямий струм 40 мА;
- робоча частота діода 100 кГц;
- постійний зворотний струм не більше 250 мкА при напрузі 10 В;

1.2.8 Обґрунтування вибору транзисторів.

Малопотужний польовий транзистор АО3401 виконаний в корпусі типу SOT23.

Технічні характеристики транзистора АО3401:

- максимально допустима напруга стік-витік 50 В;
- максимально струм стоку 30 мА;
- пікова напруга на каналі 4 В;
- максимально допустима постійна потужність розсіювання 0.25 Вт;
- робоча температура -60 - 125°C.

1.2.9 Транзистор IRF7413 призначені для використання у вторинних джерелах живлення, регуляторах, стабілізаторах, перетворювачах, схемах керування двигунами та інших електронних блоках і компонентах.

- максимально допустима напруга стік-витік 30 В;
- максимально струм стоку 20 мА;
- пікова напруга на каналі 2 В;
- максимально допустима постійна потужність розсіювання 0.2 Вт;
- робоча температура -60 - 155°C.

1.2.10 Обґрунтування вибору резисторів.

Резистори С2-33Н постійного номіналу, металодіелектричні неізолювані для навісного монтажу характеризуються високою стабільністю,

слабка залежність параметрів і опору від частоти і напруги, висока надійність.

Електричні параметри.

- Потужність 0,25 Вт; 0,5 Вт; 1,0 Вт; 2,0 Вт;
- Діапазон опорів: 1 Ом - 10 МОм;
- Точність: 5%, 1%;
- Температурний діапазон: від -55 до +125 °С.

Ці резистори були обрані, оскільки вони мають задовільні значення опору для роботи схеми, а також є дешевими та доступними.

#### 1.2.11 Обґрунтування вибору конденсаторів.

Конденсатори типу ЕСАР – Алюмінієві електролітичні конденсатори з радіальними виводами для поверхневого монтажу. Конденсатори мають високу ємність і низьку вартість.

Електричні параметри.

- Температура навколишнього середовища - 400С ... + 850С;
- Номінальні напруги 6,3В, 10В, 50, 63В, 160В, 250В, 400В;
- Номінальна ємність 0,1.... .15000 мкФ.

Конденсатори RPE5C виготовляються з керамічних пластин, дисків або трубок з металевими електродами. Їх обирають через невеликі розміри та низьку вартість.

Електричні параметри.

- Номінальна ємність 2,2 пФ. .0,33 мкФ;
- Номінальна напруга 25 В;
- Температура навколишнього середовища від -60°С до 125°С.

#### 1.2.13 Обґрунтування вибору резонатора.

Кварцевий резонатор КХ-К, застосовується для тактування мікроконтролера, частота кварцевого резонатора 16 МГц.

### **1.3. Історія розробки розробки приладів вимірювання ємності**

Історія розробки приладів вимірювання ємності конденсаторів налічує багато років і пройшла крізь кілька етапів технологічного розвитку. Ось кілька ключових моментів у цій історії:

**Початок 19 століття:** У перших експериментах вимірювання ємності конденсаторів використовувалися прості методи, такі як порівняння часу розряду конденсатора через відомий опір. Завдяки цим методам вдалося виміряти ємності електролітичних конденсаторів.

**Кінець 19 століття:** З'явилися перші бриджеві схеми для вимірювання ємності. Наприклад, містковий метод вимірювання, який базується на порівнянні резонансної частоти конденсатора з відомою індуктивністю.

**Середина 20 століття:** Розвиток електроніки призвів до появи цифрових вимірювачів ємності. Ці прилади використовують аналого-цифрові перетворювачі для вимірювання і відображення значень ємності на дисплеї. Вони забезпечують швидке та точне вимірювання ємності з мінімальною впливом людського фактору.

**Сучасність:** Завдяки швидкому розвитку технологій мікроелектроніки та сучасних матеріалів з'явилися більш точні та компактні вимірювачі ємності. Вони можуть працювати в широкому діапазоні частот, вимірювати як малий ємнісність від кількох пікофарадів до великих ємностей в декілька тисяч мікрофарадів, а також мають ряд додаткових функцій, таких як автоматична компенсація паразитних ємностей та екранування.

Розробка приладів вимірювання ємності конденсаторів продовжується й досі, спрямовуючись на покращення точності, швидкості та зручності використання, а також на адаптацію до вимог сучасних технологічних та промислових застосувань.

## 2 . Розрахунки приладу

### 2.1. Електричний розрахунок кварцевого резонатору.

#### 2.1.1 Завдання.

Розрахувати елементи кварцевого резонатору ZQ1:

- ємність C7;

- ємність C9:

#### 2.3.2 Вихідні дані:

- ємність резонатора CZQ= 16 пФ.

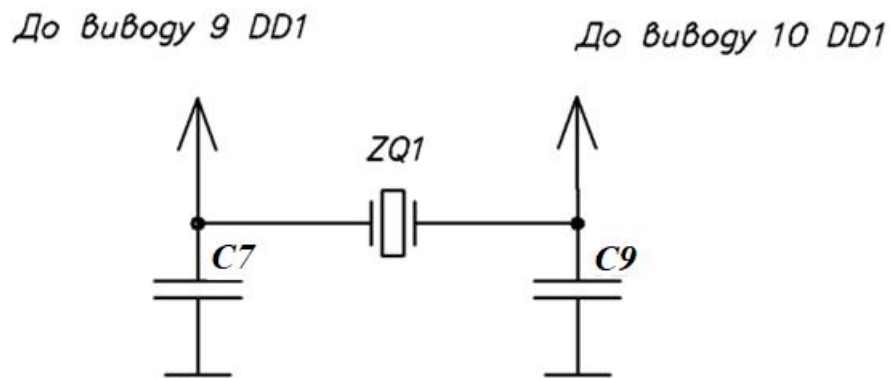


Рисунок 2.1- Схема підключення кварцевого резонатора

#### 2.1.2 Розрахунки.

Загальна ємність конденсаторів підключених між виводами кварцевого генератора повинна дорівнювати навантажувальній ємності резонатора , і визначається за формулою 2.1.

$$C_{ZQ} = \frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} + C_{нар} \quad ; \quad (2.1)$$

де  $C_{нар}$  - паразитна ємність

паразитна ємність - це ємність виводів резонатора.

друкованого монтажу. Зазвичай загальне значення паразитної ємності приймається 3-5 пФ.

Прийmemo C1 рівним C2, тоді з (2.1) випливає, що:

$$C_2 = C_3 = 2(C_{ZQ} - C_{\text{пар}});$$

(2.2)

Паразитну ємність приймаємо в розмірі 3пФ

$$C_2 = C_3 = 2(15 - 4) = 22[n\Phi]$$

Висновок: кристалічні генератори призначені для роботи паралельно з кристалічним блоком. Для правильної роботи кварцового генератора потрібен навантажувальний конденсатор. Величина навантажувального конденсатора залежить від ємності навантаження резонатора CZQ, яка визначається документацією на резонатор. В ході розрахунку було розраховано ємність конденсаторів C7 і C9, яка дорівнює 22пФ.



## 2.2. Проектування друкованої плати

### 2.2.1 Вибір методів виробництва друкованих плат

Методи виробництва друкованих плат можна розділити на три основні категорії

- віднімач
- Напівприсадка;
- адитивні, які можна розділити на дві категорії.

Субтрактивні методи передбачають травлення діелектрика з фольги. Найчастіше використовуються хімічний негативний і комбінований позитивний методи.

Субтрактивний хімічний негативний метод є кращим методом для виробництва друкованих плат для генераторів імпульсних сигналів в аматорських частотомірах.

Хімічні негативи використовуються для внутрішніх шарів односторонніх друкованих плат і багатошарових гнучких друкованих плат. Вони мають точну геометрію провідників, високу продуктивність і хорошу адгезію, але низьку щільність монтажу і низьку надійність пайки.

### 2.2.2 Виберіть основу підкладки і матеріал провідного шару.

В якості основного матеріалу використовуються діелектрики або метали з діелектричним покриттям. Діелектрики можна розділити на шаруваті і нешаруваті.

Шаруваті діелектрики можуть бути фольгованими або нефольгованими. Шаруваті пластики виготовляються з електроізоляційного паперу або скловолокнистої тканини, просоченої фенольною смолою або фенол-епоксидною смолою.

Найчастіше використовуються гетинакс і текстоліт; гетинакс дешевший і простіший в обробці, але має нижчі діелектричні та інші властивості. Він підходить для використання в некритичному

електронному обладнанні з низьким механічним навантаженням, низькими температурами і високими робочими частотами; склопластик має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати і високий поверхневий опір, але коштує в кілька разів дорожче, ніж гетанол. Вибирається для друкованої плати вимірювача параметрів конденсаторів, фольгований мідною фольгою односторонній FR-4 35\0-1.5 ГОСТ 26246.5-89.

### 2.2.3 Вибір класу точності плати та щільності друкованого монтажу.

Згідно з ГОСТ 23751-86 існує п'ять класів точності:

Вони використовуються в ОУ і ОЕП з дискретними ЕРЕ і в макетах з низькою і середньою щільністю монтажу. Максимальні розміри плат для цих класів - мм. Вони рекомендовані для побутової електроніки та безрозмірної електроніки;

2) Клас 3 використовується для друкованих плат, що містять мікросхеми та мікрозбірки. Максимальні розміри плат для цього класу - мм;

3) Клас 4 використовується для макетів високої щільності; і

4) Клас 5 використовується, в основному, для невеликих електронних пристроїв.

Другий клас точності більше підходить для цього проекту SOE. Він застосовується для друкованих плат з мікросхемами та мікрозбірками. Другий клас щільності вибирається відповідно до щільності малюнка провідників.

Таблиця 2.1 – Основні розміри параметрів друкованого монтажу

Параметри	Розмір, мм
1 Ширина провідників, $t$ , мм	0,45
2 Прогалина між провідниками, $S$ , мм	0,45
3 Відношення діаметру отвору $d_0$ до товщини плати, $H_n$ , тобто $j = d_0 / H_n$	0,40
4 Гарантійний поясок, $b$ , мм	0,20

#### 2.2.4 Попередній вибір типу друкованої плати.

Для виготовлення цього продукту була обрана одностороння друкована плата (PCB).

Односторонні друковані плати дозволяють підвищити точність креслень. Навісні електронні компоненти можуть бути розміщені на протилежній стороні, що дозволяє використовувати передові методи пайки і усуває необхідність ізоляції електронних компонентів. Можна використовувати перемички. Можна досягти менших витрат і меншої щільності монтажу.

#### 2.2.5 Вибір варіантів електричних з'єднань друкованої плати та варіантів кріплення до пристрою.

Існує кілька варіантів електричного підключення друкованої плати до пристрою

- Через електричні роз'єми. Цей спосіб є типовим для складних РАС з великою кількістю ОВТ і тому підходить для швидкої заміни за допомогою роз'ємів;

- З'єднувальні плати (колодки) використовуються для електричного з'єднання друкованих компонентів з комутаційними платами;

- Стрічкові кабелі, плетені кабелі, пресові кабелі, гнучкі друковані кабелі та шлейфи здебільшого використовуються у вузлах оформлення книг;

- Монтажні провідники. Найпростіший метод з'єднання; він має як RSA (висока надійність контакту), так і прості безвідповідальні характеристики RSA і може використовуватися за звичайних умов використання. Монтажний провідник припаюється до контактної площадки.

В апаратурі електричне підключення ДП здійснюється за допомогою монтажного проводу ПВ6-3п ТУ16.К01-34-2002. Монтажний провід припаюється до контактної площадки.

#### 2.2.6 Аналіз електричних схем

Під час вивчення електричних схем було виявлено наступні моменти.

- Пристрій не має електричних ланцюгів з великими струмами (>2,5 А);
- Відсутні контрольні точки;
- Схеми не містять ЕРЕ, які виділяють велику кількість тепла і потребують додаткових заходів охолодження.

#### 2.2.7 Вибір варіантів розміщення ЕРЕ на борту.

З метою забезпечення максимальної технологічності процесу складання, що особливо важливо при випуску великих партій РЕЗ, рекомендується вибирати варіант монтажу РЕЗ на друковану плату і формування виводів з рекомендованих ОСТ45 010.010-95 (технологія автоматичного друкованого складання) - і ОСТ4.091.124-79 і ОСТ4.070.010-78. Варіанти монтажу РЕК наведені в таблиці 2.2.

#### 2.2.8 Реконструкція електричної схеми.

Реконструкція електричної принципової схеми (реконструкція) є робочим інструментом проектувальника. Оскільки вона не є частиною конструкторської документації, на неї не поширюються вимоги стандарту (тобто вона виконується за правилами, встановленими самим розробником, і результати наносяться на графік). Реконструкція є проміжним документом між кресленням ЕП і друкованою платою і допомагає проектувальнику створити креслення комутації (друкованої плати) найбільш зручним і швидким способом. Реконструкції ЕЗ дозволяють:

а) усунення уявних перетинів, не показаних на схемі ЕЗ, і виявлення реальних перетинів;

б) намітити конкретні шляхи усунення перетинів на ДП; та

в) визначити приблизне взаємне розташування ERE на платі.

Застосовуються наступні правила реконфігурації:

1) Електричні з'єднання між DER позначаються лініями;

2) У символах ERE з трьома і більше виводами, якщо дивитися на виводи з боку друкованого провідника, положення виводів повинно збігатися з елементами, змонтованими на платі;

3) усунути всі перетини, які можна усунути шляхом графічної деформації схеми; шляхом перенесення і повороту зображення EBT перетини телекомунікаційних ліній повинні бути зведені до мінімуму;

4) зовнішні лінії зв'язку виводяться за межі схеми з боку, найбільш зручного для розташування електричних з'єднань; та

5) Усунути переходи, що залишилися, шляхом проведення лінії через ERE або його вивід; зображення ERE може бути трансформоване (за необхідності): резистори можуть бути подовжені, обкладки конденсаторів можуть бути розділені і т.д;

(6) Якщо перетин не може бути усунутий або усувається шляхом перетину ряду ERE, він позначається U-подібним переходом.

Після реконфігурації схеми було виявлено, що вона може бути встановлена на односторонній ДП. Така конструкція схеми полегшує розміщення ЕМІ на платі та з'єднання його з друкованою схемою.

## 2.2.9 З'ясувати варіанти встановлення ERE в огороженні

Якщо реконструкція схеми показує, що можуть виникнути труднощі з моніторингом ДП (багато перетинів, які неможливо усунути), варто проаналізувати, чи можуть інші варіанти встановлення конкретних ЕРЕ зменшити кількість перетинів, і вибрати їх, якщо це не вплине негативно на технологічність. Після реструктуризації схеми не виникло жодних труднощів і варіант встановлення залишився незмінним.

#### 2.2.10 Розрахунок необхідної площі підкладки та вибір розмірів

Спочатку розраховується площа  $S_m$ , необхідна для розміщення ЕРЕ, шляхом підсумовування площ встановлення всіх ЕРЕ відповідно до обраного варіанту встановлення.

Після того, як необхідна площа підкладки визначена, визначаються розміри її країв. При цьому враховуються допустимі розміри підкладки відповідно до обраного класу точності і щільності, допустимі розміри пристрою, максимальне співвідношення сторін, умови експлуатації, а також тип і кількість підкладок. Розміри країв підкладки слід вибирати зі стандартного діапазону розмірів (ОСТ 4.010.020-83).

Після того, як визначено площу кожного ЕПРА, необхідно визначити простір, необхідний для його встановлення.

$$S_m = 4S_{мг} + 2,5 S_{ср} + 1,2 S_{кр}, \quad (2.3)$$

де  $S_{мг}$  – площа малогабаритних ЕРЕ;

$S_{ср}$  – площа середньогабаритних ЕРЕ;

$S_{кр}$  – площа крупногабаритних ЕРЕ.

$$S_m = 4 \cdot 255,85 + 3 \cdot 766,30 + 1,2 \cdot 498,53 = 3537,34 [\text{мм}^2].$$

Площа допоміжної зони визначається як площа для розміщення елементів кріплення підкладки до пристрою, радіаторів для ЕРЕ з тепловим навантаженням, пристроїв для кріплення додаткових елементів до підкладки тощо. Установчі розміри цих елементів визначаються з

довідників відповідно до обраного типу і розраховується допоміжна зона. –  
 $S_d$ .

$$S_d=1000 \text{ [мм}^2\text{]}.$$

Сумарна площа плати складає

$$S_{\Pi}=S_M+S_d ; \quad (2.4)$$

$$S_{\Pi}=3537,34+1000=4537,34 \text{ [мм}^2\text{]}.$$

Для вимірювача параметрів конденсаторів обираємо односторонню ДП з розмірами (100x50) мм.

#### 2.5.11 Розрахунок параметрів друкованої збірки

##### 2.5.11.1 Мета. Обчислити:

- 1) Діаметр монтажних отворів  $D_0$ ;
- 2) діаметр контактної площадки  $D$
- 3) ширину друкованого провідника  $t$  (таблиця 2.2)
- 4) відстань  $S$  між сусідніми елементами друкованого монтажу;
- 5) мінімальна відстань  $L$  для прокладання тракту з  $n$  провідників (4 провідники, якщо не вказано додатково).

##### 2.5.11.2 Вихідні дані

- 1) Клас точності друкованої плати - 2;
- 2) Клас щільності друкованої плати - 2;
- 3) Установчі розміри ЕРЕ;
- 4) Вимоги відповідного стандарту.

##### 2.2.11.3 Розрахунок.

1 Діаметри монтажних і наскрізних отворів вибираються з числа отворів, рекомендованих ОСТ 4.070.1.

Кількість отворів рекомендована ОСТ 4.070.010-78 і наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Рекомендовані діаметри отворів

Діаметр, мм		Діаметр контактного майданчика	Мінімаль на відстань між центрами отворів
виводу ЕРЕ	отвор у	мм	мм
до 0,5	0,9	2,5	3,5
0,6;0,7	1,1	3,0	3,5
0,8;0,9	1,3	3,0	3,75
1,0;1,1	1,5	3,0	3,75
1,2;1,3;1, 4	1,8	3,0	3,75

Перевірте наступні умови для кожного отвору

$$d_0 \geq j \cdot H_n, \quad (2.5)$$

Де  $j$  - відношення мінімального діаметра отвору до  $H_n$ ;

$H_n$  - товщина підкладки.

$$0,9 > 0,4 \times 1,5 = 0,6$$

$$1,4 > 0,4 \times 1,5 = 0,6$$



2 Діаметр контактної площадки повинен бути обраний з діапазону, рекомендованого ОСТ 4.070.010-78. Для кожної контактної площадки необхідно перевірити наступні умови.

$$D \geq D_{\min}, \quad (2.6)$$

Тут  $D_{\min}$  - найменший номінальний діаметр контактної площадки.

$$D_{\min} = (d_o + \Delta d_{z.o.}) + 2b + \Delta t_{z.o.} + 2\Delta t_{m.p.} + (T_d^2 + T_D^2 + \Delta t_{z.o.}^2)^{1/2}, \quad (2.7)$$

де  $\Delta d_{z.o.}$  - верхнє відхилення діаметра отвору;

$b$  - гарантований пас, мм;

$\Delta t_{z.o.}$  - верхнє відхилення діаметра контактної площадки;

$\Delta t_{m.p.}$  - величина діелектричного травлення отвору  $\Delta t_{m.p.} = 0$ ;

$T_d$  - значення допуску положення осі отвору по діаметру;  $T_D$  - значення допуску положення осі отвору по діаметру;

$T_D$  - значення допуску розташування центру контактної площадки (за діаметром);  $T_d$  - значення допуску розташування центру контактної площадки (за діаметром);

$\Delta t_{z.o.}$  - нижнє граничне відхилення між діаметром контактної площадки і шириною друкованого провідника.

$$D_{\min 1} = (0,9 + 0,1) + 2 \cdot 0,3 + 0,1 + 2 \cdot 0 + (0,15^2 + 0,25^2 + 0,1^2)^{1/2} = 2,05 \text{ [мм]};$$

$$D_{\min 2} = (1,4 + 0,05) + 2 \cdot 0,3 + 0,25 + 2 \cdot 0 + (0,2^2 + 0,15^2 + 0,2^2)^{1/2} = 2,52 \text{ [мм]};$$

Діаметр контактної площадки  $D1 = 2,1$  мм,  $D2 = 2,5$  мм.

3 Конструкторсько-технічні розрахунки ширини друкованого провідника  $t1$ .

Номінальна ширина провідника у вузькому місці.

$$t_{y.m.} = t_{m.d.} + |\Delta t_{z.o.}|, \quad (2.8)$$

де  $t_{m.d.}$  – мінімальна допустима ширина провідника у вузькому місці.

$$t_{1y.m.} = 0,45 + 0,10 = 0,55 \text{ [мм]}.$$

У вільному місці  $t_{m.d.}$  береться на клас нижче

$$t_{1c.m.} = t_{m.d.} + |\Delta t_{н.о}|, \quad (2.9) \quad t_{m.d.} - \text{мінімально}$$

допустима ширина провідника у вільному просторі.

$$t_{1c.m.} = 0,75 + 0,10 = 0,85 \text{ [мм]}.$$

4 Розрахунок мінімальної ширини провідника  $t_2$  при електричному режимі постійного струму. Ширина провідника розраховується з урахуванням двох факторів: допустимої густини струму в провіднику і допустимого падіння напруги на провіднику. Для побутових RCA густина струму в провіднику не повинна перевищувати. Для інших RCA і PDP - зовнішній шар і PDP - внутрішній шар, допустиме падіння напруги становить 1-3% від прикладеної напруги.

$$t_2 \geq \frac{L \cdot I_{max} \cdot \rho}{(0.01 - 0.03) h_f \cdot U}, \quad (2.10)$$

Де  $h_f$  - товщина фольги, мм;

$U$  - прикладена напруга, В;

$L$  - довжина провідника, м;

$I_{max}$  - допустимий струм у провіднику;

$\rho$  - питомий опір провідника.

$$t_2 = \frac{0,47 \cdot 0,1 \cdot 0,0175}{0,02 \cdot 5 \cdot 0,035} = \frac{0,0008}{0,0042} = 0,19 \text{ [мм]}.$$

5 Необхідно вибрати ширину силового провідника  $t = 1$  мм і виконати наступні умови

$$t \geq \begin{cases} t_1=0,55\text{мм} \\ t_2=0,19\text{мм} \end{cases}$$

Мінімальна ширина сигнального провідника у вузькому просторі вибирається відповідно до класу точності.

6 Розрахувати зазор  $S$  між компонентами друкованої плати.

Номінальна мінімальна відстань між сусідніми компонентами в друкованій схемі.

$$S_M = S_{M.d} + \Delta t_{в.о}, \quad (2.11)$$

де  $S_{M.d}$  - визначає мінімально допустиму відстань між сусідніми друкованими матеріалами.

$$S_M = 0,45 + 0,10 = 0,55 \text{ [мм]}.$$

7 Метод розрахунку найкоротшої відстані  $L$  у вузьких місцях при прокладанні  $n$  маршрутів провідників.

$$l = \frac{D_i + D_i}{2} + nt + S_M(n + 1) + T_i, \quad (2.12)$$

Де  $D_1, D_2$  - діаметри контактних майданчиків;  
 $n$  - кількість провідників.

$$l = \frac{2,1 + 2,5}{2} + 3 \cdot 1 + 0,55 \cdot (3 + 1) + 0,2 = 7,5 \text{ [мм]}.$$

Таблиця 2.4 – Дані розрахунків ДП

Діаметр монтажних отворів , мм	0,9; 1,4
Діаметр контактних майданчиків , мм	2,1;2,5
Ширина друкованих провідників , мм	1,0
Відстань між сусідніми елементами,мм	0,55
Мінімальна відстань у вузькому, місці для проведення трас n=3, мм	7,5

2.5.11.4 Найважливішими критеріями при розміщенні EPE та трасуванні є:

а) рівномірне розташування ЕМІ та провідників на підкладці;

б) розміщення ЕМІ з високим тепловим навантаженням по периметру;

в) мінімальна загальна довжина провідників;

г) мінімальна довжина найдовшого провідника; д) мінімальна довжина найдовшого провідника;

е) мінімальна довжина найдовшого провідника

д) мінімальна площа поперечного перерізу провідників;

Якість розводки друкованої плати можна контролювати за допомогою коефіцієнта заповнення.

$$K_3 = \frac{S_N}{S_{II}}, \quad (2.13)$$

де  $S_N$  - це загальна встановлена площа всіх EPE;

$S_{II}$  - навколо друкованих плат

$$K_3 = \frac{4537,34}{5000,00} = 0,91.$$

## 2.2.12 Моніторинг з'єднань

Метою цього дослідження є визначення шляхів з'єднання контактних майданчиків відповідно до методу ЕЗ. Для трасування з'єднань на спроектованій друкованій платі було обрано метод прямого трасування. Найпростіший метод трасування полягає в прокладанні трас по найпростішому шляху, що з'єднує точки, які підлягають комутації. У цьому випадку довжина друкованого провідника прокладається спочатку для найбільш важливих електричних ланцюгів, а потім для менш важливих, таким чином мінімізуючи довжину важливих електричних ланцюгів. Під час прокладання кожного нового маршруту контактні площадки та монтажні отвори раніше прокладених маршрутів стають перешкодами, які поступово заважають прокладанню наступного маршруту. Маршрути прокладатимуться разом з раніше прокладеними маршрутами та навколо них.

### 2.3. Остаточний розрахунок надійності РЕА тимчасовим західом

Надійність - це якісна характеристика електронного обладнання, яка не може бути виміряна фізичними методами, а може бути лише оцінена. Надійність - це здатність виконувати певну функцію і зберігати значення заданого показника працездатності протягом тривалого часу в певному діапазоні, що відповідає конкретним режимам і умовам використання, технічного обслуговування, зберігання і транспортування. Порушення хоча б однієї з цих умов використання може призвести до відмови виробу, тобто його виходу з ладу.

Надійність характеризується низкою показників, які поділяються на чотири групи

- Параметри витривалості
- Параметри безвідмовності
- Параметр безпеки
- Параметр ремонтпридатності.

Довговічність - це здатність виробу продовжувати функціонувати до періоду фізичного зносу при дотриманні встановленого режиму технічного обслуговування і ремонту.

Надійність - властивість безперервної працездатності протягом заданого проміжку часу або заданого періоду експлуатації.

Ремонтпридатність - властивість виробу зберігати безперервну працездатність під час і після зберігання та транспортування.

Ремонтпридатність - властивість, що полягає в можливості запобігання або усунення відмов чи пошкоджень та їх наслідків шляхом ремонту або технічного обслуговування.

### 2.6.1 Завдання.

- Виконати остаточні розрахунки надійності обладнання за мінімальною та максимальною інтенсивністю відмов ЕРЕ та часом відновлення працездатного стану; - Виконати остаточні розрахунки надійності обладнання за мінімальною та максимальною інтенсивністю відмов ЕРЕ та часом відновлення працездатного стану
- Визначити умови експлуатації та тип РЕЗ, обґрунтувати та визначити всі допущення та математичні залежності, які будуть використані в розрахунках;
- Визначити показники надійності для остаточних розрахунків надійності за розглянутою методикою.
- Проаналізувати отримані показники надійності та, за необхідності, запропонувати найкращий метод їх покращення на етапі проектування.

### 2.6.2 Вихідні данні:

- Електрична принципова схема вдосконаленого захищеного параметризатора конденсаторів (показана на рисунку ЕЗ);
- Температура ЕРЕ оцінюється шляхом аналізу роботи схеми ЕЗ без теплових розрахунків;
- Режим електричного навантаження ЕРЕ обрано як рекомендований без виконання повного електричного розрахунку схеми пристрою;
- При визначенні характеристик відмов передбачається, що час експлуатації вже минув, а період старіння і зносу ще не почався;
- Якщо значення довідкових даних недоступні.  $k_n$  та  $\alpha_1$  для деяких ЕРЕ вони рівні 0,5; при відсутності значення  $T_g$  – рівні 0,2...1,0 год.

### 2.6.3 Теоретичні обґрунтування і розрахунки.

Визначення мінімального часу напрацювання на відмову.

За умовами експлуатації та класифікацією розміщення дане обладнання відноситься до групи 1 радіобладнання наземної служби (обладнання, що експлуатується в опалювальних наземних та підземних приміщеннях). Показники надійності даного типу РЗА

$$T_{p,max} = 2500 год$$

$$T_{0,99p,min} = 25 год$$

звідси

Тип визначається надійністю.

Відповідно до їх призначення, конденсаторні вимірювачі параметрів поділяються на системи, що обслуговуються, відповідно до частоти обслуговування, і системи, що ремонтуються, відповідно до характеру їх функцій. Ремонтпридатні системи відновлюють свої перервані функції у випадку несправності або ремонту.



Визначте тип несправності.

Несправність - це подія, яка викликає часткову або повну втрату працездатності обладнання.

Згідно з технічними вимогами та проектними специфікаціями, відмови оцінюються наступним чином

- За передбачуваністю - раптові;

- За часом виникнення - тільки під час експлуатації; та

- взаємозалежні - незалежні;

- За способом виявлення - відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті; - не відкриті

- За стабільністю - стабільні; За причиною виникнення - структурні

- За причиною виникнення - структурні;

- За способом виникнення - випадкові

- За впливом на систему в цілому - призводить до повної відмови.

#### 2.6.4 Обґрунтування шляху визначення показників надійності.

Для визначення показників надійності є два шляхи – експериментальний та теоретичний.

Експериментальний шлях передбачає визначення показників надійності ЕРЕ та всієї системи (приладу) через проведення експериментів та обробку отриманих статичних даних за законами теорії ймовірностей. Хоч це і дає найбільш вірогідну оцінку надійності, однак в період проектування більш прийнятним є теоретичний шлях. Суть його в тім, що знаючи показники надійності складових частин (наприклад ЕРЕ), які вже визначені експериментально (виробником) і приведені в паспортних чи

довідникових даних, знаходять методом розрахунків показники надійності всієї системи. Тому для розрахунків показників надійності пристрою обирається теоретичний шлях.

#### 2.6.5 Обґрунтування часу виникнення несправностей

Відмови під час нормальної експлуатації здебільшого спричинені випадковими факторами: прихованими внутрішніми дефектами та технічними перевірками, які не були виявлені під час обкатки. Інтенсивність відмов ЕРЕ під час нормальної експлуатації вважається постійною величиною.

$$\lambda = \text{const} . \quad (2.14)$$

Значення інтенсивності відмов ПЕД за нормальних умов наведені в довідковому матеріалі. Для визначення загальної інтенсивності відмов обладнання необхідно знати ці ЕРЕ та закон розподілу відмов системи. Статистика показує, що раптові експлуатаційні відмови РЕЗ, ймовірно, характеризуються експоненціальним законом розподілу і тому

$$P(t) = \exp(-\Lambda t), \quad (2.15)$$

де  $P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи виробу за час  $t$ .

Тут ймовірність того, що виріб буде працювати безвідмовно протягом певного часу

Однак припущення, що на робочому майданчику трапляються лише раптові відмови, не зовсім правильне: можливість виходу з ладу через зношування виключена. Це можливо тільки при досить ретельному профілактичному обслуговуванні або обслуговуванні протягом певного періоду часу, або якщо

процеси зносу відбуваються досить повільно. Для цього обладнання (побутові ЕМІ) процеси зносу і старіння вважаються досить повільними

#### 2.6.6 Визначення способу активації ПЕД.

У вихідних даних було встановлено, що вихід з ладу одного ПЕД призводить до виходу з ладу всього обладнання. Таке ввімкнення ЕРЕ для цілей надійності називається первинним (послідовним).

#### 2.6.7 Розрахункові показники для визначення критеріїв надійності

- Інтенсивність відмов обладнання в цілому

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n, \quad (2.16)$$

де  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  - інтенсивності відмов ЕРЕ.

- середнє напрацювання до відмови

$$T_{cp} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (2.17)$$

- ймовірність безвідмовної роботи за час  $t$

$$P_{(T)} = \exp(-\Lambda t). \quad (2.18)$$

-  $T_\gamma$  - відсоткове напрацювання до відмови

$$T_\gamma = T_{cp} (1 - \gamma), \quad (2.19)$$

де  $\gamma$  - наперед заданий рівень ймовірності (0,9...0,999).

- середній час відновлення працездатного стану

$$T_{\varepsilon} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_j T_{\varepsilon j})}{\sum_{j=1}^m \lambda_j}, \quad (2.20)$$

де  $J$  - номер групи рівнонадійних ЕРЕ;

$\lambda_j$  - сумарна інтенсивність відмов  $j$ -тої її групи рівнонадійних ЕРЕ;

$T_{\varepsilon j}$  - сумарний середній час відновлення працездатності всіх ЕРЕ,

що входять до групи  $J$ .

- коефіцієнт готовності

$$K_{\varepsilon} = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{\varepsilon}}. \quad (2.21)$$

#### 2.6.8 Опис використаної методології.

Остаточні розрахунки надійності проводяться на етапі інженерного проектування, коли схема і конструкція пристрою є остаточно розробленими і повністю відпрацьованими. Тому розраховується вплив усіх зовнішніх і внутрішніх факторів (теплове навантаження, електричний режим, механічне навантаження, клімат і т.д.) на надійність.

Інтенсивність відмов всього пристрою визначається за наступним рівнянням.

$$\Lambda = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \sum \lambda_i, \quad (2.22)$$

де  $K_1$  - коефіцієнт, який враховує вплив механічних чинників;

$K_2$  - коефіцієнт, який враховує вплив кліматичних чинників;

$K_3$  - коефіцієнт, який враховує роботу даної системи при

зниженому атмосферному тиску.

Інтенсивність відмов  $i$  – го елемента у реальних умовах експлуатації

$$\lambda_i = a_{1i} \cdot a_{2i} \cdot \dots \cdot a_{ni} \cdot \lambda_{0i}, \quad (2.23) \quad \text{де}$$

$\lambda_{0i}$  - інтенсивність відмов  $i$ -го елемента в нормальних умовах експлуатації;

$a_{1i} \dots a_{ni}$  - Поправочний коефіцієнт, який враховує вплив різних факторів (наприклад, температури елемента, електричного навантаження, радіації, вологості тощо) на надійність першого елемента.

Найбільш характерними факторами для розрахованих категорій РЕА є температура та електричний заряд ЕРЕ. Тому ми розглянемо вплив лише цих двох факторів, припускаючи, що інші фактори знаходяться в межах норми. Таким чином, формула виглядає наступним чином.

$$\lambda_i = a_{1i} \cdot \lambda_{0i}; \quad (2.24)$$

$$a_{1i} = f(k_{ni}; t_i^0), \quad (2.25)$$

де  $t_i$  - температура  $i$ -го елемента;

$k_{ni}$  - коефіцієнт електричного навантаження.

Оскільки вихідні дані не дозволяють провести повний розрахунок електричної та теплової надійності, надійність ЕПРА та інші характеристики оптимально поєднуються шляхом вибору температури ЕПРА на основі експлуатаційного аналізу пристрою ЕПРА та коефіцієнта електричного навантаження як рекомендованого значення.

2.6.9 Розрахунок інтенсивності відмов конденсаторного параметризатора в реальних умовах експлуатації.

Всі елементи пристрою розбиті на групи однотипних, а інтенсивність відмов елементів всередині групи та середній час відновлення працездатного стану однакові для всіх ЕМІ.

Дані представлені в таблиці 2.5.

Інтенсивність відмов обладнання, якщо не враховувати категорію ЕО (умови експлуатації установки).

$$\Lambda'_{\min} = \sum_{j=1}^m \lambda_{j \min} ; \quad (2.26)$$

$$\Lambda'_{\min} = 3,0457 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{\text{год}} \right].$$

$$\Lambda'_{\max} = \sum_{j=1}^m \lambda_{j \max} ; \quad (2.27)$$

$$\Lambda'_{\max} = 19,7280 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{\text{год}} \right].$$

Значення поправочного коефіцієнта для постійного атмосферного тиску, вологості 60-70%, температури (від -10 до +35) 0°C, нормального атмосферного тиску

$$K_1=1,07; \quad K_2=1,00; \quad K_3=1,00.$$

З їх урахуванням за формулою

$$\Lambda_{\min} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \Lambda'_{\min} ; \quad (2.28)$$

$$\Lambda_{\min} = 1,07 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 3,0457 = 3,2590 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{\text{год}} \right].$$

$$\Lambda_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \Lambda'_{\max} ; \quad (2.29)$$

$$\Lambda_{\max} = 1,07 \cdot 1,00 \cdot 1,00 \cdot 19,7280 = 21,1089 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{1}{\text{год}} \right].$$

2.6.10 Розрахувати інші показники надійності.

- Середній інтервал напрацювання на відмову.

Це математичне очікування середнього інтервалу напрацювання на відмову

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \quad (2.30)$$

$$T_{cp.min} = \frac{1}{21,1089 \cdot 10^{-6}} = 47373 [\text{год}].$$

$$T_{cp.max} = \frac{1}{3,2590 \cdot 10^{-6}} = 306842 [\text{год}].$$

- Ймовірність безвідмовної роботи.

Ймовірність того, що несправність не виникне протягом певного часу.

$$P_{max}(t) = \exp(-\lambda_{min} t); \quad (2.31)$$

$$P_{min}(t) = \exp(-\lambda_{max} t); \quad (2.32)$$

$P_{max}(10) = 0.99997;$	$P_{min}(10) = 0.99980;$
$P_{max}(100) = 0.99967;$	$P_{min}(100) = 0.99803;$
$P_{max}(1000) = 0.99675;$	$P_{min}(1000) = 0.98047;$
$P_{max}(3000) = 0.99028;$	$P_{min}(3000) = 0.94253;$
$P_{max}(7000) = 0.97745;$	$P_{min}(7000) = 0.79179;$
$P_{max}(10000) = 0.96794;$	$P_{min}(10000) = 0.82096;$
$P_{max}(30000) = 0.90682;$	$P_{min}(30000) = 0.55331;$
$P_{max}(50000) = 0.84963;$	$P_{min}(50000) = 0.37292.$

Підставивши у формулу відповідні числа та формули, внесіть дані до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Залежність  $P(t)$

P(t)	t год							
	10	100	1000	3000	7000	10000	30000	50000
$P_{\max}(t)$	0.99997	0.99967	0.99675	0.99028	0.9774	0.9679	0.9068	0.8496
$P_{\min}(t)$	0.99980	0.99803	0.98047	0.94253	0.7917	0.8296	0.5533	0.3729

Графік ймовірність безвідмовної роботи на рисунку 2.1.

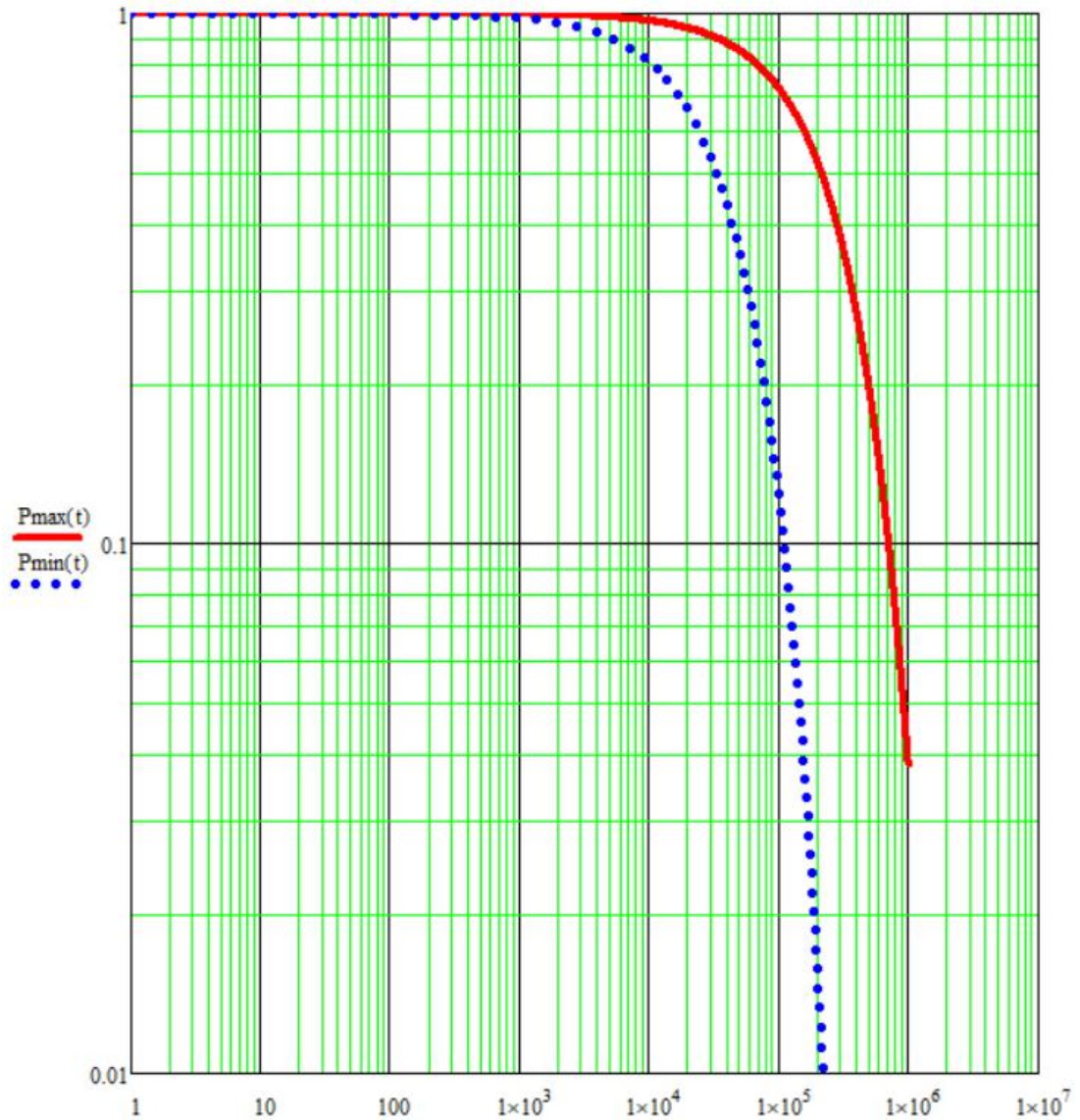


Рисунок 2.1 - Графік ймовірності безвідмовної роботи вимірювача параметрів конденсаторі з підсиленням захистом



З  $\gamma$  - Показник напрацювання на відмову - це період часу, протягом якого ймовірність того, що відмова не відбудеться, є меншою за певну гарантовану ймовірність.  $\gamma = 0,99$ .

$$T_{0,99 \min} \approx T_{cp.\min} (1 - \gamma); \quad (2.33)$$

$$T_{0,99 \min} \approx 47373 \cdot (1 - 0,99) = 474[\text{год}]$$

$$T_{0,99 \max} \approx T_{cp.\min} (1 - \gamma); \quad (2.34)$$

$$T_{0,99 \max} \approx 306842 \cdot (1 - 0,99) = 3068[\text{год}]$$

Таблиця 2.7 – Вихідні дані для розрахунку  $T_{ei}$

$\lambda_{\min} \cdot T_{\text{вmin}}$	$\lambda_{\min} \cdot T_{\text{вmax}}$	$\lambda_{\max} \cdot T_{\text{вmin}}$	$\lambda_{\max} \cdot T_{\text{вmax}}$
0,06300	0,31500	0,06300	0,31500
0,08400	0,42000	0,63000	3,15000
0,09750	0,22750	0,09750	0,22750
0,27000	0,63000	0,27000	0,63000
0,29025	0,67725	0,29025	0,67725
0,30375	0,70875	0,30375	0,70875
0,00510	0,02550	0,25500	1,27500
0,00600	0,03000	0,12000	0,60000
0,46080	1,95840	8,06400	34,27200
0,01940	0,08245	5,85000	24,86250
0,07560	0,32760	7,86240	34,07040
0,01280	0,05440	0,22400	0,95200
0,01170	0,04973	2,10600	8,95050
0,35700	1,78500	0,91800	4,59000
0,09750	0,22750	0,09750	0,22750
0,02501	0,13751	0,20001	1,10001
0,01275	0,00638	0,255	0,1275
0,04001	0,20001	0,04001	0,20001
2,59920	5,19840	51,98400	103,96800
0,00750	0,00750	0,00180	0,00180
$\Sigma = 5,23037$	$\Sigma = 14,90188$	$\Sigma = 80,22372$	$\Sigma = 223,67272$

Середній час безвідмовної роботи - це математичне очікування середнього часу, необхідного для відновлення системи до робочого стану.

$$T_{B1} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{j \min} T_{Bj \min})}{\sum_{j=1}^m \lambda_{j \min}} ; \quad (2.35)$$

$$T_{B1} = \frac{5,2304 \cdot 10^{-6}}{3,0457 \cdot 10^{-6}} = 1,72[\text{год}].$$

$$T_{B2} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{j \min} T_{Bj \max})}{\sum_{j=1}^m \lambda_{j \min}} ; \quad (2.36)$$

$$T_{B2} = \frac{14,9018 \cdot 10^{-6}}{3,0457 \cdot 10^{-6}} = 4,89[\text{год}].$$

$$T_{B3} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{j \max} T_{Bj \min})}{\sum_{j=1}^m \lambda_{j \max}} ; \quad (2.37)$$

$$T_{B3} = \frac{80,2237 \cdot 10^{-6}}{19,7280 \cdot 10^{-6}} = 4,07[\text{год}].$$

$$T_{B4} = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{j \max} T_{Bj \max})}{\sum_{j=1}^m \lambda_{j \max}} ; \quad (2.38)$$

$$T_{B4} = \frac{223,6727 \cdot 10^{-6}}{19,7280 \cdot 10^{-6}} = 11,34[\text{год}].$$

Значення  $T_B$  лежить в межах від 1,72 до 11,34 год.

5 Коефіцієнт готовності - це ймовірність того, що обладнання буде функціонувати в будь-який момент часу, за винятком запланованого періоду, коли не очікується, що продукт буде використовуватися за призначенням

$$K_{c.min} = \frac{T_{cpmin}}{(T_{cpmin} + T_{Bmax})}; \quad (2.39)$$

$$K_{c.min} = \frac{47373}{(47373+11,34)} = 0.99976.$$

$$K_{c.max} = \frac{T_{cpmax}}{(T_{cpmax} + T_{Bmin})}; \quad (2.40)$$

$$K_{c.max} = \frac{306842}{(306842+1,72)} = 0,99999.$$

### 3.5.11 Висновок.

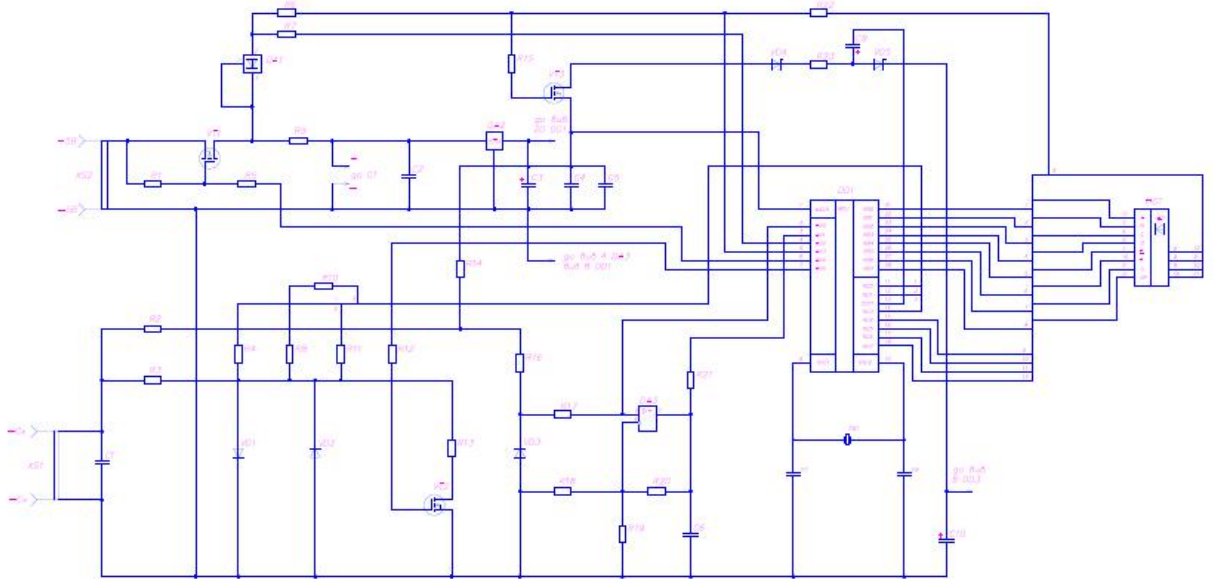
Обрана елементна база приладів, принципи та методи компоновання і побудови конструкцій забезпечили вимоги до рівня надійності.

$$T_{0,99min} = 474200 > T_{0,99min} = 95200$$

### 3. Апаратно програмна реалізація

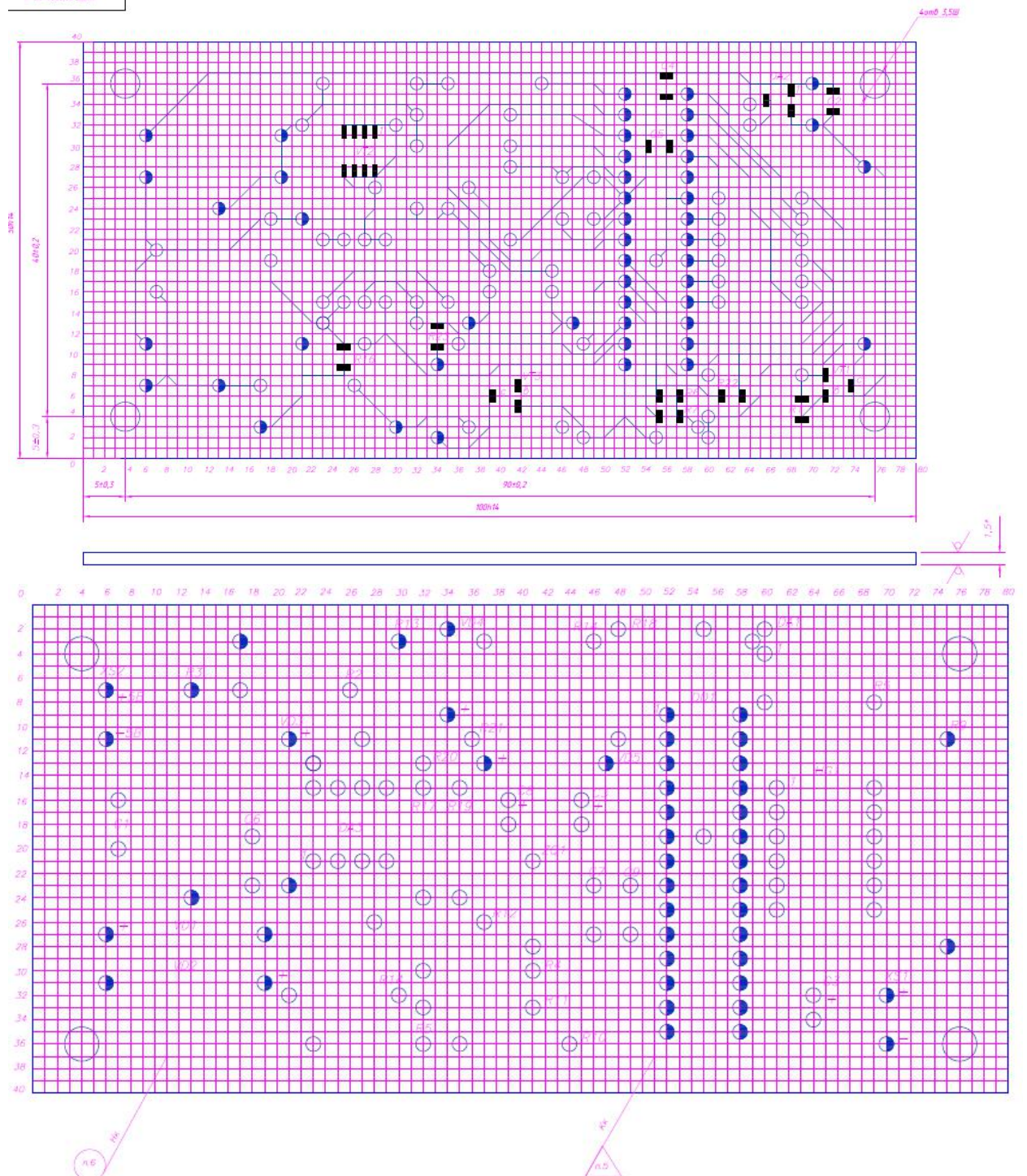
Електрична схема пристрою.

Вона показує схему пристрою, всі компоненти та з'єднання між ними, а також елементи, що закінчують вхідні та вихідні з'єднання електричного кола.



## Друківана плата

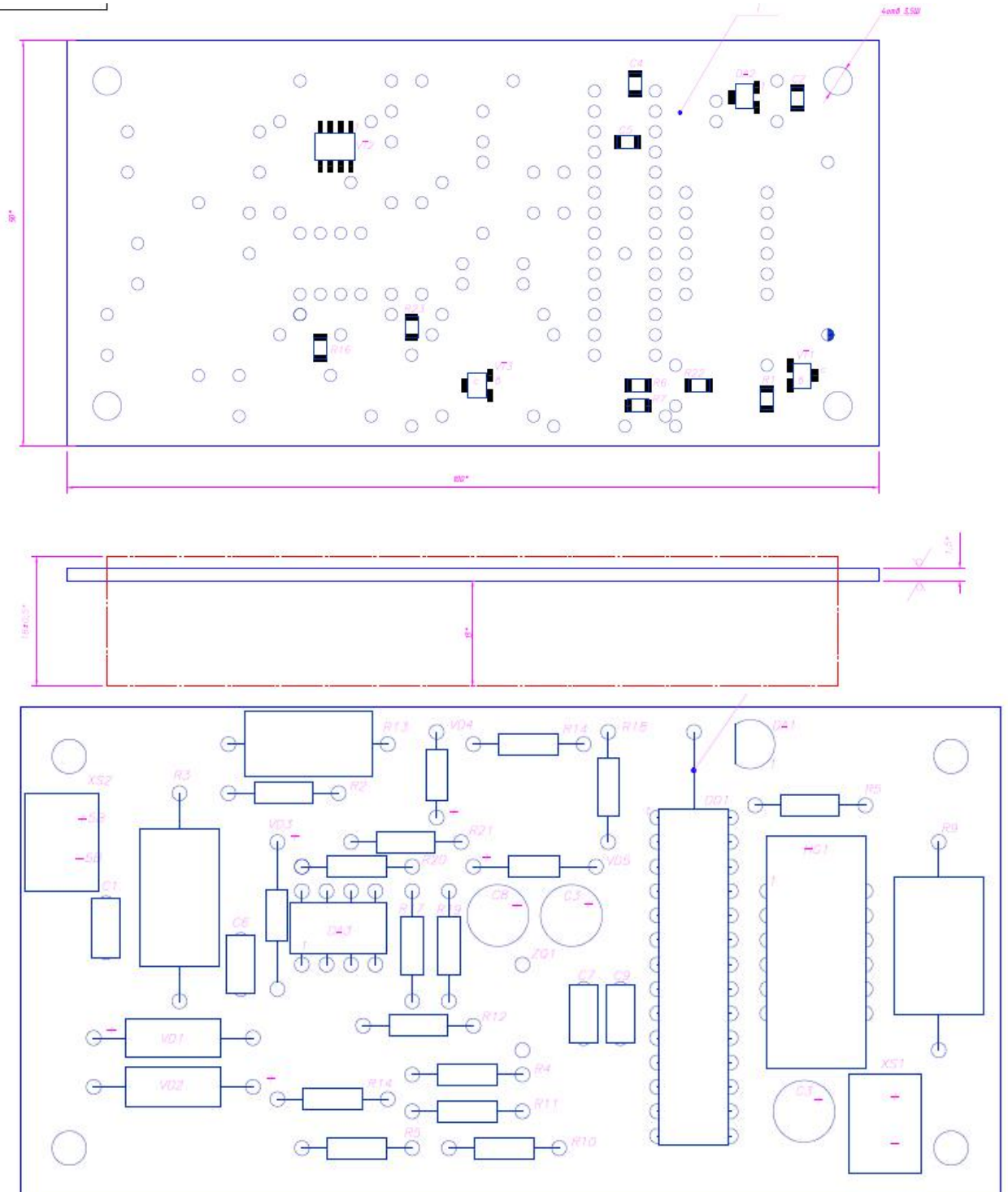
На друкованій платі показані монтажні отвори і контактні площадки для елементів пристрою, схеми підключення пристроїв, товщина струмопровідних доріжок між елементами і товщина підкладки.



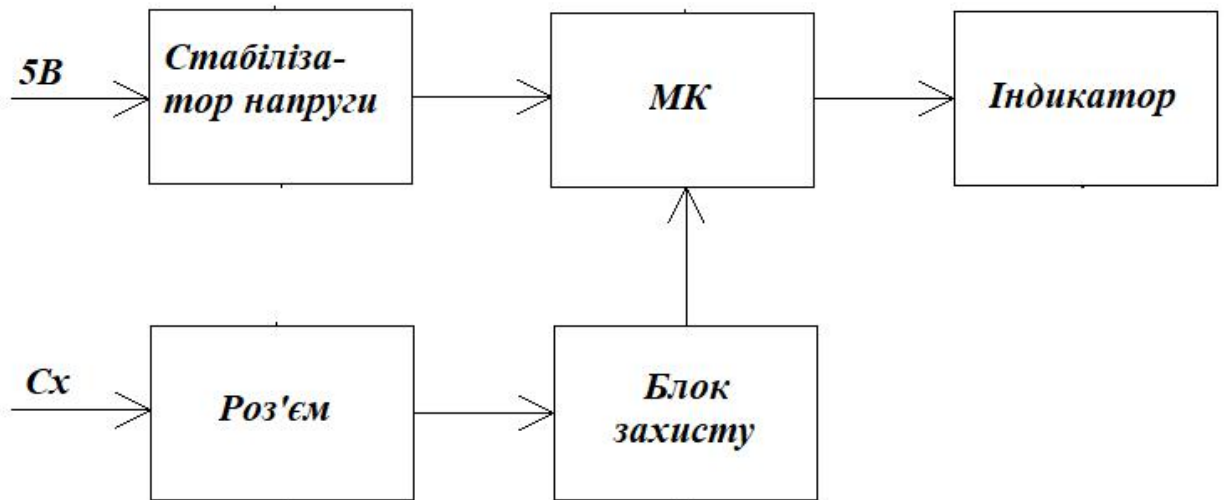


## Монтажна схема

На монтажній схемі показано вигляд плати пристрою зверху, розташування елементів на платі та висоту найвищого елемента на схемі.



## Електрична структурна схема



Пристрій складається з наступних вузлів:

- стабілізатор напруги на мікросхемі DA2, забезпечує живлення мікроконтролера;
- блок захисту – захищає прилад від підключення заряджених конденсаторів;
- роз'єм – забезпечує підключення конденсаторів до приладу, для вимірювання їх ємності та ЕРС;
- МК – основний елемент приладу, виконує усі арифметико-логічні операції приладу
- індикатор – забезпечує відображення інформації про підключений конденсатор до пристрою.

## **ВИСНОВОК**

В ході кваліфікаційного проекту було розроблено вимірювач параметрів конденсаторів з підсиленням захистом. В процесі виконання проекту було розроблено схему електричну принципову, та описано принцип її роботи. Пристрій виготовляється з доступної та недорогої елементної бази. Після попередніх розрахунків буде розроблена друкована плата для пристрою та надрукована на односторонньому скловолокні методом хімічного негативу.

В процесі виконання було розраховано розмір друкованої плати, діаметр монтажних отворів та контактних майданчиків, ширину друкованих провідників, відстань між сусідніми елементами, мінімальна ширина для прокладання провідникового тракту.

Розрахунки визначили гарантовану тривалість і загальну надійність роботи схеми при експлуатації друкованої плати в нормальних умовах.

Прилад буде поміщений у пластмасовий корпус чорного кольору, розміри якого 120x70x40, передня панель пофарбована в білий колір.

## **ПЕРЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1 Белінський В.Т. Практичний посібник із навчального конструювання РЕА - К.: "Вища школа", 2005.



- 2 Белов С.В. Охорона праці машинобудуванні під ред. Є.Я. Юдіна та С.В. Белова. - М. Машинобудування, 2010.
- 3 Варламов Р.Г. Довідник конструктора РЕА. Загальні засади конструювання. - М.: "Радянське радіо", 2003.
- 4 Гершунський Б.С. Основи електроніки та мікроелектроніки, М. Вища школа 2007.
- 5 Коваленко М.М. Проектування друкованої плати Навчально методичний посібник для студентів РТ спеціальностей. - К.: "КРМТ", 2013.
- 6 Журнал "Радіо", №12, 2009;
- 7 Єнесєєв П.В. Охорона праці машинобудуванні М.: "Энергоатомиздат" 2008;
- 8 Замятін В.В. Допомога радіоаматору. Випуск 110. - М.: "Патріот", 2012.
- 9 Лавриненко В.Ю. Довідник з напівпровідникових приладів. - К.: "Техніка", 2010.
- 10 Ненашев А.П. Конструювання радіоелектронних пристроїв.
- 11 Довідник. Інтегральні мікросхеми – за редакцією Б.В. Тарабріна. - М.: "Енергоатоміздат" 2006;
- 12 Стандарти ЕСКД, ЕСТД, ЕСТПВ.
- 13 Фрумкін Г.Д. Розрахунок та конструювання радіоелектронної апаратури. - М.: "Вища школа", 2005.
- 14 Фрумкін Г.Д. Розрахунок та конструювання радіоелектронної апаратури. - М: Вища школа, 2005.
- 15 Веб-сайт: <http://olav-smt.narod.ua> - Методи виготовлення друкованих плат.
- 16 Веб-сайт: <http://bookwu.net> – Види та типи виробництв та їх характеристики
- 17 Веб-сайт: <http://www.tme.eu> – Елементи для монтажу, ціни, докладні характеристики.
- 18 Веб-сайт: <http://roboforum.ua/wiki/> - Опис мікросхем.

