

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«ЦИФРОВИЙ МУЛЬТИМЕТР
З АВТОМАТИЧНИМ ВИБОРОМ ГРАНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та інформа-
ційно-вимірювальна техніка

М.В. Коношко
шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Коношко М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., асист. каф. ІРТС
О.О. Семенова
(прізвище та ініціали)

« 35 » 12 2023 р.

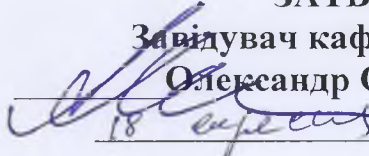
Опонент: д.т.н., доц. каф. ІКСТ
Д.В. Михалевський
(прізвище та ініціали)

« 19 » 12 2023 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІРТС
О.В. Осадчук
(прізвище та ініціали)

« 20 » 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних електронних систем
Кафедра Інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
(шифр і назва)
Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва)
Освітня програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІРТС
Олександр ОСАДЧУК

18 вересня 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Конопку Миколі Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань»

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, к.т.н., доцент, асист. каф. ІРТС

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» 09.2023 р. №247

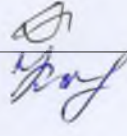
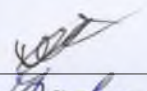
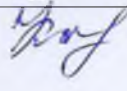
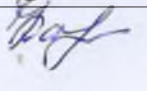
2. Строк подання студентом роботи 15.12.2023р

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення – 9 В; потужність споживання(не більше) – 2 Вт; коефіцієнт передачі за напругою 1; 0,1; 0,01; 0,001; чутливість – 2 В

4. Зміст текстової частини: Вступ. Розроблення схеми мультиметра. Розробка конструкції приладу. Комп'ютерне моделювання. Технологічна частина. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема, схема електрична принципова, плата друкована, складальне креслення комп'ютерне моделювання схема точного випрямляча

6. Консультанти розділів роботи

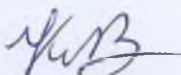
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., доцент, асистент каф. ІРТС Семенова О.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

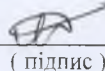
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2023-07.09.2023	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2023-17.09.2023	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	18.09.2023-27.09.2023	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2023-15.10.2023	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	16.10.2023-09.11.2023	
6.	Розробка графічної частини МКР.	10.11.2022-20.11.2022	
7.	Економічна частина.	21.11.2023-30.11.2023	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	01.12.2023-14.12.2023	
9.	Нормоконтроль.	15.12.2023-18.12.2023	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	19.12.2023-20.12.2023	
11.	Захист МКР ЕК.	21.12.2023-22.12.2023	

Студент


(підпис)

Конопко М. В.

Керівник роботи


(підпис)

Семенова О. О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.397

Конопко М.В. Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма – комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 128с. На українській мові. Бібліогр.: 33 назв; табл.: 18; рис.: 30.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробленню конструкції цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювань, який дає можливість вимірювати такі електричні параметри як напруга постійного та змінного струму, сила постійного струму, опір, а також контролювати стан батареї.

На основі схеми електричної принципової проведено аналіз конструкції пристрою, розроблено друковану плату. Проведено моделювання. Також розраховано витрати на розробку та виготовлення даного пристрою та економічний ефект від його розробки.

Ключові слова: мультиметр, цифровий, вимірювання

ABSTRACT

Konopko M.V. Digital multimeter with automatic selection of measurement limits. Master's qualification work on specialty 152 - metrology and information-measuring technology, educational program - computerized information-measuring technologies - Vinnytsia: VNTU, 2023. -128 p. In Ukrainian. Refs.: 33 titles; table: 18; figs.: 30.

The master thesis is dedicated to the designing a digital multimeter with automatic selection of measurement limits, which measures such electrical parameters as voltage of direct and alternating current, strength of direct current, resistance, and controls the state of a battery.

Considering the electrical diagram, the device schematics was analysed and the printed circuit board was designed. Modeling has been carried out. The costs for development and production of this device and the economic effect of its development are also calculated.

Keywords: multimeter, digital, measurement

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ МУЛЬТИМЕТРА.....	5
1.1 Миттєва частота та її статистичні характеристики	5
1.2 Аналіз схеми електричної принципової	9
1.3 Аналіз елементної бази	14
1.4 Компонування пристрою.....	15
2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ.....	30
2.1 Розробка конструкції друкованої плати	30
2.2 Розрахунок плати на вібростійкість.....	36
2.3 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати.....	39
2.4 Тепловий розрахунок пристрою.....	41
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	44
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	53
4.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик.....	53
4.2 Розробка технології складання пристрою.....	58
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	63
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	67
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	69
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	85
5.5 Висновки до розділу.....	89
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	94
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	99

ВСТУП

Актуальність теми.

Мультиметри – це контрольно-вимірювальні прилади, використання яких залежить тільки від функціональних можливостей конкретної моделі.

Мультиметр – обов'язковий прилад в будь-якій лабораторії як спеціаліста, так і будь-якого радіолюбителя. За механізмом роботи виділяють два основних типи мультиметрів: стрілкові (аналогові) та цифрові. Через обмеження за функціями, перші поступово поступаються місцем другим, однак в ряді випадків вони незамінними, наприклад для швидкого якісного оцінювання параметрів або при вимірюваннях в умовах радіозавад. Цифрові мультиметри показують більш точні результати та мають зручну візуалізацію результатів вимірювань певного параметру.

Крім стандартного набору величин (напруги та сили постійного і змінного струму, опору) існуючі мультиметри призначені для вимірювання ємності та індуктивності, температури (за допомогою внутрішнього датчика чи зовнішньої термопари), частоти (Гц та об./хв.), та шпаруватості, тривалості імпульсів й інтервали між ними в випадку імпульсного сигналу. Практично всі вони можуть здійснювати «прозвонку» електричного кола.

Часто в них також реалізовано такі функції, як перевірка напівпровідникових приладів (падіння напруги на р-n-переході, коефіцієнт підсилення транзисторів) і генерація простого тестового сигналу. Серед сервісних функцій увагу привертають таймер вимикання живлення та підсвічування дисплею, що достатньо рідко зустрічається.

Зараз промисловість випускає багато різних типів мультиметрів для найрізноманітніших застосувань. Особливо зручні прилади, які не потребують в процесі роботи додаткових маніпулювань з переключенням границь вимірювань. Подібні прилади достатньо дорогі та доступні не всім радіолюбителям.

У даній роботі буде розроблено конструкцію цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювань, який дає можливість вимірювати такі електричні параметри як напруга постійного та змінного струму, сила постійного струму, опір, а також перевіряти діоди та контролювати стан батареї.

Існує багато варіантів реалізації такого пристрою, проте вони всі відрізняються кількістю виконуваних функцій, діапазоном вимірюваних величин, похибкою вимірювання та варіантом живлення вагою та вартістю. Таким чином, із вище перерахованих міркувань можна зробити висновок, що розроблення даного приладу є доцільною та швидко віднайде споживача завдяки досить прийнятній ціні, високим технічним та експлуатаційним характеристикам.

Метою роботи є покращення технічних показників цифрового мультиметру з автоматичним вибором границь вимірювань.

Об'єкт дослідження: цифровий мультиметр.

Предмет дослідження: електричні параметри цифрового мультиметра.

Для досягнення поставленої у роботі мети треба виконати такі **задачі**:

1. Розробити структурну схему мультиметра
2. Виконати комп'ютерне моделювання пристрою.
3. Провести його експериментальні дослідження.
4. Виконати аналіз комерційного потенціалу розробки.

Основні результати роботи: розроблений та досліджений цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань. З результатів дослідження випливає, що пристрій працює.

Апробація результатів. За результати роботи було подано тези доповіді на міжнародну конференцію.

1 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ МУЛЬТИМЕТРА

Мультиметри – це контрольно-вимірювальні прилади, які призначені для вимірювання визначених електричних величин та найчастіше використовуються в переносному варіанті. Зараз промисловість випускає багато різних типів мультиметрів для найрізноманітніших застосувань. Перспективним напрямком є розробка цифрових мультиметрів з автоматичним вибором границь вимірювань, оскільки вони дають наглядні результати при вимірюванні параметрів та не потребують в процесі роботи додаткових маніпулювань з переключенням границь вимірювань. Подібні прилади достатньо дорогі та доступні не всім радіолюбителям. Тому постають проблеми зменшення ваги мультиметра та його вартості.

Останнім часом з'являється все більше конструкцій подібних пристроїв, при цьому аналогові мультиметри поступаються місцем цифровим. Останні показують більш точні результати, але головне – це зручна візуалізація результатів вимірювань того чи іншого параметра.

1.1 Аналіз схеми електричної принципової

Вимірювальна частина приладу виконана на мікросхемі великого ступеня інтеграції (БІС) DD7, що працює за принципом подвійної інтеграції. Її виходи призначені для управління чотирма цифрами рідкокристалічного індикатора (РКІ). Вимірювальна частина БІС працює за принципом подвійної інтеграції, суть якої полягає в тому, що на початку вимірювання інтегруючий конденсатор заряджається протягом певного часу струмом, пропорційним вимірюваній напрузі, а потім розряджається певним струмом до нуля. Час, протягом якого відбувається розряд конденсатора, пропорційно вимірюваній напрузі. На лічильнику БІС утворюється відповідний код, керівник через дешифратори сегментами ЖКИ. Цикл вимірювання складається з трьох фаз: інтеграція сигналу, розрядка інтегрального конденсатора і автоматична корекція нуля (АК). До

складу мікросхеми АЦП входить тактовий генератор. Частота проходження його імпульсів визначається елементами С15 і R40 і складає 50 кГц. Граничне значення напруги, що поступає на вхід БІС (виводи 30 і 31), залежить від величини зразкової напруги на виводі 36 і визначається співвідношенням $UBX_{\text{МАКС}} = \pm 1,999 \cdot U_{\text{ОБР}}$. Зразкова напруга в мультиметре рівна 1 В, отже, напруга на вході АЦП не повинна перевищувати 1,999 В. Крім аналого-цифровий перетворювач мультиметр містить і інші вузли: електронний аттенюатор (DA1, DD4), точний випрямляч (DA3), пристрій вибору межі (DD1 — DD3, DD5, DD6), генератор стабільного струму (VT1) і живлячий пристрій (DA2, VT2, VT3). Електронний аттенюатор виконаний на операційному підсилювачі DA1 і мультиплексорі DD4. Відповідно до вибраної межі вимірювання мультиплексор включає в зворотний зв'язок інвертуючого ОУ відповідний опір, утворений точними резисторами R16, R19, R24, R27. Їх поєднання визначають вхідний опір підсилювача. Разом з резистором R5 воно утворює вхідного дільника. Коефіцієнт передачі по напрузі від вхідного гнізда XS1 до виходу ОУ DA1 приймає значення 1, 0,1; 0,01; 0,001 залежно від коди, що управляє, на мультиплексорі DD4. При вимірюванні струму на межах 2, 20, 200 мА коефіцієнт передачі електронного аттенюатора має значення 100, 10, 1, оскільки сигнал на вхід ОУ поступає через резистор R6. При вимірюванні постійної напруги або струму сигнал на вхід АЦП DD7 поступає з виходу мікросхеми DA1, а при вимірюванні змінного — з виходу ІМС DA9, яка перетворює змінну напругу в постійну. У точному випрямлячі, зібраному на мікросхемі DA3, вхідна напруга подається на інвертуючий вхід через подстроєчний резистор R28. Позитивна півхвиля посиленої напруги виділяється на резисторі R31, негативна, — на R34. Між нижніми по схемі виводами резисторів R31 і R34 формується двонапівперіодна випрямлена напруга, яка через фільтр R37C15 подається на вхід АЦП. Через R28 напруга зворотного зв'язку поступає на вхід підсилювача, цим буде досягнута висока точність та лінійність перетворення. За відсутності сигналу стабільність робочої точки підсилювача забезпечується за рахунок зворот-

ного зв'язку через резистор R33. Великий опір у нього вибраний для того, щоб не шунтувати вимірювальний ланцюг випрямляча.

Тепер розглянемо роботу пристрою автоматичного вибору межі вимірювання, що містить шість логічних елементів що «виключає АБО», що чекає мультівібратор і реверсивний лічильник. При включенні живлення на виходах Q1 і Q2 лічильника DD6 виникає код 00, відповідний найвідчутнішій межі 0—2 В. На індикаторі висвічуються три нулі, а кома світиться в крайньому лівому положенні (.000). Якщо вхідні щупи мультиметра підключити до джерела з напругою більше 2 В, тоді після циклу вимірювання АЦП — приблизно через 0,5 з — на індикаторі зникнуть свідчення трьох цифр і залишаться тільки одиниця старшого розряду (1.). Оскільки на ЖКИ подається імпульсна напруга, те зникнення цифр означає, що на їх сегментах присутня напруга, синфазна з напругою на загальному дроті HG1 (вивід 1). Достатньою ознакою роботи індикатора в такому режимі служить одночасне згасання сегментів «b» і «f» в другому розряді (виводи 5 і 9). Реєстрація цього стану проводиться логічними елементами DD2.1 і DD2.2, на входи яких (виводи 1 і 5) поступають сигнали з сегментів «b» і «f», а на інші входи — з мікросхеми DD5, що інвертує сигнали з виводу, що управляє, БІС. Якщо сигнали на входах елемента що «виключає АБО» синфазні, то на виході присутній логічний 0, коли вони в протифазі – логічна 1. У разі перевищення вхідною напругою вибраної межі вимірювання на виходах елементів DD2.1 і DD2.2 з'являється напруга високого логічного рівня і на виході пристрою «I», виконаного на діодах VD8, VD9 і резисторі R17, також виникне високий рівень. Він запускає генератор на елементах DD5.1, DD5.2, імпульси якого частотою 1 Гц впливають на вхід лічильника DD6. На його виходах Q1 і Q2 з'являється код 01 і поступає на входи мультиплексорів DD1 і DD4, що управляють. Коефіцієнт передачі аттенюатора стає рівним 0,1, а кома на ЖКИ переміщається на один крок управо. Імпульси з генератора поступають на вхід лічильника до тих пір, поки на індикаторі не з'явиться яке-небудь число. Після цього на виході елемента «I» (VD8, VD9) встановиться логічний «0» і генератор (DD5.1, DD5.2) припинить роботу. Пере-

хід на нижчу межу вимірювання відбувається, коли в першому розряді індикатора з'являється 0: сегменти «в» і «с» не світяться. У другому розряді також відображається 0, тобто світяться сегменти «а» і «d» і не горить сегмент «q». Перехід по цих ознаках на нижчу межу відбувається досягнувши вимірюваної величиною рівня, що не перевищує половинного значення наступної межі. Інакше кажучи, якщо вимірювана величина менше 1,00, 10,0, 100, відбувається перехід на чутливішу межу. Перехід здійснюється за допомогою логічних елементів DD2.3, DD2.4, DD3.1, DD3.2 і схеми збігу на діодах VD11-VD14 і резисторі R23. Коли виникають умови для переходу на іншу межу вимірювання, на виході схеми збігу виникає позитивний імпульс, що обнуляє лічильник DD6, і вибір межі починається з рівня 0-2 В. При роботі мультиметра в режимі омметра вимірюваний опір підключається до клем XS2.XS4, і через нього протікає струм, що створюється генератором стабільного струму, зібраного на транзисторній збірці VT1. Залежно від вибраної межі пристрій виробляє стабільний струм силою 1000, 100, 10 або 1 мкА. Напруга з вимірюваного опору через перемикачі SA1 і SA2 подається безпосередньо на вхід БІС DD7. Щоб виключити пошкодження приладу при випадковому попаданні на вхід омметра високої напруги, у вимірювальній ланцюг введені елементи захисту R9, R10, VD3, VD4, які, не роблячи впливу на точність вимірювання, дозволяють витримувати на входах XS2, XS4 напруга до 100 Ст.

У генератора стабільного струму вихідний струм колектора VT1.3 задається за допомогою мультиплектора DD1, що підключає між колектором VT1.1 і загальним дротом один з резисторів R3, R4, R7, R8 залежно від коди на входах, що управляють. Друга половина мультиплектора DD1 використовується для індикації положення комою.

Метод вимірювання струмів мультиметром – звичайний. Вимірюваний струм протікає через гнізда X3 і X4, між якими включений прецизійний резистор R2. Падіння напруги на нім реєструється вимірювальною частиною приладу. Оскільки номінал R2 всього 10 Ом, то на межі 0-2 мкА падіння на нім дово-

диться підсилувати в 100 разів. Запобіжник FU2 захищає резистор R2 від перегорання при помилкових включеннях.

У режимі вимірювання струмів електронний аттенуатор перетворюється на підсилювач з коефіцієнтом посилення 100, 10 або 1. Із-за великого посилення на найвідчутнішій межі смуга частот вимірювання змінного струму складає всього лише 1 кГц. Для живлення в мультиметре є стабілізатор напруги (операційний підсилювач DA2) і перетворювач полярності (DD3.3, DD3.4). Як джерело опорної напруги використаний польовий транзистор з *p-n*-переходом (VT4). Напруга зсуву на нім формується на резисторі R18. ОУ DA2 включений по схемі неінвертуючого підсилювача, коефіцієнт посилення якого задається резисторами R20 і R26. Стік польового транзистора підключений до виходу стабілізатора, тому зразкова напруга підтримується з високою точністю, причому коефіцієнт стабілізації досягає 1000. Нестабільність вихідної напруги визначається в основному якістю резисторів R18, R20, R26 і температурною залежністю зразкової напруги. Негативна напруга живлення, необхідна для ОУ і АЦП, виробляється в діодно-емкісному перетворювачі за допомогою транзисторів VT2 і VT3. На входи цих елементів поступають через буфер DD5.3 імпульси частотою 50 кГц від внутрішнього генератора БІС DD7, а сигнал з колекторів VT2, VT3 завдяки діодно-емкісному перетворювачу встановлює на конденсаторі C4 негативну напругу амплітудою на 1 В менше, ніж напруга живлячої батареї.

1.2 Аналіз елементної бази

Аналіз елементної бази виконується для з'ясування того, чи забезпечить вона задані характеристики пристрою, передбачені умовами експлуатації і режимами роботи. Проводиться конструктивний аналіз, в якому розглядаються розмірні характеристик радіоелементів і їх маси, проводиться опрацювання попереднього способу кріплення елементів на електронних блоках. Аналізуються електричні характеристики кожного елемента, що дозволяє перевірити вихідні

дані, а також виявити найбільш навантажені елементи для того, щоб в подальшому прийняти додаткові конструктивні рішення [4].

Для конструкції необхідно використати високоякісні вітчизняні радіокомпоненти та елементи, які зможуть забезпечити необхідні технічні характеристики виробу і одночасно дозволять зробити невисокою собівартість виробу .

В схемі електричній принциповій використовується елементна база, основні характеристики якої приведено нижче [3, 5-7].

В схемі використано конденсатори:

- К73–17 (керамічні монолітні);
- К53–4 (ніобієві оксидно-напівпровідникові);

Таблиця 1.1 – Основні характеристики конденсаторів

Параметри	К73 - 17	К53 - 4
Межі номінальної ємності, пФ	2,2 - 39000	0,1 - 330мкФ
Відхилення ємності, %	5; 10; 20	20; 50
Номінальна напруга, В	25; 50	6...50
Реактивна потужність, В·А	1...40	-
Тангенс кута втрат	0,0015	-

Використано такі резистори:

- МЛТ (метало діелектричні);
- СПЗ – 19 (керметні композиційні)
- СП5 – 3 (змінні дротяні

Таблиця 1.2 – Основні характеристики резисторів

Параметри	МЛТ	СПЗ – 196	СП5–3
Номінальна потужність, Вт	0,125	-	-
Номінальний опір, Ом	1...3 МОм	10...2,2 МОм	10...2,2 МОм
Відхилення опору, %	5	10; 20; 30	10; 20; 30
ТКС при $t = 20^{\circ}\text{C}$, $\%/^{\circ}\text{C}$	0,0005	0,0005	0,0005
ЕРС шумів, мкВ/В	5	30	30
Робоча напруга, В	200	250	250

Використано такі діод:

Діод КД103А має характеристики:

- допустимий постійний чи середній прямий струм, мА – 50;
- допустима імпульсна чи постійна зворотна напруга, В – 50;
- зворотній струм, мкА – 0,5.

Діод КД521 має характеристики:

- постійна зворотна напруга, В – 30;
- середній випрямлений струм, мА – 100;
- постійний зворотний струм не більше, мкА – 2;
- ємність діода не більше, пФ – 4.

Діод Д9 – германієвий точковий має характеристики:

- прямий струм – 10 мА;
- зворотний струм – 0,25 мА;
- макс. допустима зворотна робоча напруга – 10 В.

Основні параметри транзисторів використаних в схемі подані в таблиці

1.3.

Таблиця 1.3 – Основні параметри транзисторів

Параметри	КТ361	КТ315	КП303Е
Коефіцієнт передачі струму	20..90	20...90	
Постійний струм колектора, мА	50	100	
Розсіювана потужність, мВт	150	150	200

В схемі використані мікросхеми КР140УД1408, 79L05, К561КП1, КР544УД1, КР572ПВ5, К561ИЕ11, КР198НТ7, К544СА1, К555ЛИ1.

Мікросхема серії 79L05 має такі параметри

Вихідна напруга – 5 В

Максимальний струм – 0,1А

Максимальна потужність – 0,5 Вт

Мікросхема КР140УД1408 – операційний підсилювач – має такі основні параметри:

- вхідна напруга – 15 В;
- коефіцієнт підсилення – $50 \cdot 10^3$;
- струм споживання – 1 мА;
- вхідний опір – 30 МОм;
- частота – 0,5 МГц.

Мікросхема серії К561КП1 – мультиплексор – має такі параметри:

- вхідний струм, нА – 400;
- вхідний опір, МОм – 0,4;
- коефіцієнт підсилення напруги, не менш – $3 \cdot 10^4$
- вихідний опір, Ом – 200;
- максимальний вихідний струм, мА – 20;
- струм споживання, мА – 3,5.

Мікросхема КР544УД1 (ОП) має такі основні параметри:

- вхідна напруга – 15 В;
- коефіцієнт підсилення – $50 \cdot 10^3$;
- струм споживання – 3,5 мА;
- вхідний опір – 10 МОм;
- частота – 1 МГц.

Мікросхема серії КР572ПВ5 – АЦП – має такі параметри:

- робоча напруга, В/мкс – 20 ;
- вхідний струм, нА – 0,1.

Мікросхема серії К561ИЕ11 – лічильник – має такі параметри:

- вхідна напруга – 5 В;
- вихідна напруга – 4,2 В;
- вхідний струм – 0,4 мА.

Перелік радіоелементів, що використовуються приводиться в таблиці

1.4. Тут також наведені їх основні конструкторські та експлуатаційні характеристики

Таблиця 1.4 – Основні характеристики елементів

Тип елемента	Кі-ть	Конструктивні параметри			Допустимі умови експлуатації					
		маса, гр.	площа, мм ²	діаметр вив., мм	Температура, °С	Вібрація		Удар. переван., g	Лін. прискор., g	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$, год. ⁻¹
						частота, Гц	Перевантаження σ			
Конденсатори										
К73 – 17	13	0,5	65	0,7	-60+125	10-600	10	20	25	0,6
К53 – 4	3	1	30	0,7	-40..+70	10-800	2,5	5	10	0,78
Резистори										
МЛТ-0,125	38	0,15	20	0,6	-60..+70	10-2000	15	20	25	0,3
СПЗ – 19	2	3	44	0,5	-30..+90	10-600	15	5	10	0,9
СП5 – 3	1	2,5	122	0,5	-30..+90	10-600	15	5	10	0,9
Діоди										
КД521	2	0,15	8	0,6	-55..+85	10-1000	15	25	20	0,2
КД103	8	3	6	0,2	-40..+55	10-2000	7,5	75	25	0,4
Д9	4	1	18	0,5	-40..+55	10-2000	7,5	75	25	0,4
КС185А	2	2	15	0,7	-40..+55	10-2000	7,5	75	25	0,4
Транзистори										
КТ361	1	0,8	22	0,8	-60 +100	15-2000	15	25	150	1,7
КТ315	1	0,8	22	0,8	-60 +100	15-2000	15	25	150	1,7
КП303Е	1	0,8	36	0,5	-60 +100	15-2000	15	25	150	1,7
Мікросхеми										
КР140УД14 08	2	0,5	75	0,5	-25..+85	1-600	10	75	25	0,52
79L05	2	0,2	22	0,5	-25..+85	1-600	10	75	25	0,52

К561КП1	2	1	124	0,5	-25..+55	10-1000	15	25	20	0,52
КР544УД1	1	0,5	75	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
КР572ПВ5	1	5	670	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
К561ИЕ11	1	1	124	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
КР198НТ7	1	1	124	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
К544СА1	1	1	124	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
К555ЛИ1	1	1	124	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55
Роз'єми										
СП-75-51-ЄФ	2	1	56	-	-60..+70	10-2000	15	20	25	0,5
Перемикачі										
ПД2-2П4Н	2	5	100	-	-60..+70	10-2000	15	20	25	0,5
Запобіжники										
FU	1	0,15	-	-	-60..+70	10-2000	15	20	25	0,5
Індикатор										
ИЖЦ5-4/8	1	6	900	0,5	-25..+85	10-1000	15	50	20	0,55

Як видно з таблиці, елементна база відповідає наступним умовам експлуатації: діапазон робочих температур $-20...+70$ °С; вібрація 10-600 Гц; прискорення до 2,5 g; ударні перевантаження до 5 g; лінійне прискорення до 10 g.

1.3 Аналіз аналогічних конструкцій

На даний момент в Україні не виготовляються мультиметри, які мають вказану кількість виконуваних функцій, невелику вагу і вартість. Але за кордоном досить багато аналогічних конструкцій.

За аналог було обрано конструкцію мультиметра DRAPER D60792, який виконує такі функції: вимірювання постійної та змінної напруги, постійного струму, опору, а також дає можливість перевірити діоди та транзистори. Має

безпечний вхідний роз'єм та додатковий набір пробників з зажимами типу «крокодил». Має екран з підсвічуванням.

Недоліком цього пристрою є велика вага (220 г) та вартість.

Порівняно з аналогом розроблюваний цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювання не має дефіцитної елементної бази. Він також має дещо зменшені похибки вимірювання деяких параметрів (до 2 %), має в меншу вагу та більш надійний в експлуатації.

Таким чином, розроблюваний цифровий мультиметр має достатньо високі технічні параметри, більшу надійність, довговічність. Слід також відмітити простоту та легкість користування та обслуговування.

Існує ще багато різних типів таких пристроїв, але на нашому ринку вони мають досить велику вартість. Тому можна зробити висновок, що пристрій, який розробляється, при його високих технічних характеристиках та досить прийнятній ціні буде мати попит на українському ринку.

1.4 Компонування пристрою

1.4.1 Загальні відомості та завдання компоування

Компоування є процесом вибору форм та геометричних розмірів, визначення орієнтовної маси і планування розміщення в просторі елементів та вузлів з метою забезпечити максимально корисної ефекту, який визначається схемою і призначенням РЕА. Результатом компоування являється компоувальний ескіз, за яким можна зроби висновки щодо можливих розмірів, форми та маси блоку [5-8].

Конструктивні типові елементи, закладені в основу РЕА, визначаються принципами компоування. Обмеження та вимоги, які висуваються до конструкції РЕА, визначають принципу компоування.

Компоування можна здійснювати різними методами (аналітичним, модельним, графічним, натурним та ін.) [6].

При застосуванні аналітичного методу оперують числовими значеннями різних компоувальних характеристик, до яких відносяться розміри елементів, їх маса, площа, об'єм тощо.

Модельне компоування є найбільш поширеним завдяки простоті і наочності. При цьому застосовують плоскі або об'ємні моделі, виконані у вигляді спрощених креслень.

Метод графічного компоування полягає в спрощеному графічному викреслюванні елементів РЕА та оформлення різних варіантів їх розташування. Для цього використовують штампи та трафарети.

При натурному компоуванні реальні елементи – резистори, конденсатори, котушки – використовують замість моделей.

Компоування блоків РЕС можна розглядаєт в трьох аспектах:

- враховуючи вимоги зручності складання, контролю, ремонту, механічних і електричних з'єднань, передусім враховуються ергономічні вимоги.

- функціональне компоування, тобто розміщення та встановлення елементів на друкованих платах, при цьому необхідно враховувати функціональні і енергетичні вимоги та щільність компоування і встановлення елементів, а також щільність топології друкованих провідників [7].

Для перших двох аспектів попереднє компоування полягає в визначенні форми і габаритних розмірів.

Функціональне компоування виконують для визначення основних розмірів друкованої плати, а також для вибору способів проектування і виготовлення. Для того, що здійснити функціональне компоування достатньо переліку елементів. А для насиченого, тобто складного компоування, окрім переліку елементів необхідна принципова електрична схема приладу, крім того, доцільно мати додаткові вказівки про особливості цієї схеми.

При розробленні конструкції приладу потрібно виконати компоування на двох рівнях.

Перший рівень – компонування друкованої плати з прив'язкою груп елементів за функціональними групами, а також врахування теплової сумісності з мінімізацією довжин з'єднувальних провідників;

Другий рівень – зовнішнє компонування приладу, з урахуванням всіх вимог, що висуваються до конструкції. До вимог відносять технологічність і ремонтпридатність. Тобто необхідно здійснити внутрішнє і зовнішнє компонування приладу.

1.4.2 Розроблення різних варіантів конструкції та їх аналіз

При проектуванні значна увага приділяється правильному вибору конструкції блоку, матеріалу заготовок, конструктивних форм і розмірів деталей.

Основою будь-якого радіоелектронного виробу є конструкція носія, яка забезпечує конструктивну цілісність виробу і потібно для механічного кріплення, розміщення, захисту від механічних перевантажень та від руйнівного впливу довкілля тощо.

За класифікацією типових структур конструкцій сучасної радіоелектронної апаратури, розроблюваний пристрій належить до другого рівня (ГОСТ 8865-87). Це означає, що він є пристроєм, в котрому елементи 0-го структурного рівня, призначені для виконання завершених функцій прийому, передачі чи перетворення сигналів, виконані на основі базової навісної конструкції 2-го рівня і характеризуються властивостями конструктивної взаємозамінності.

Високі вимоги висуваються до корпусу блоку. Він має забезпечити: жорстке кріплення друкованих плат, з'єднання їх виводів з переходами, котрі призначені для зв'язку з зовнішніми колами, захист плат і електрорадіоелементів від зовнішніх кліматичних і механічних дій. До того ж, корпус має бути економічно вигідним, технологічним, забезпечувати можливість складання схеми, контроль, налагодження, ремонт, а також відповідати ергономічним та естетичним показникам [5, 6].

Семе тому на першому етапі потрібно обрати матеріал конструкції носія і корпусу.

Беручи до уваги умови експлуатації, а також вимоги до масогабаритних та кошторисних показників оберемо як матеріал корпусу в двох випадках пластмасу, а в одному – мета, а саме алюміній. Тепер розглянемо декілька варіантів компонування проєктованого пристрою.

Варіант 1. Цей варіант – з горизонтальним розміщенням плати в алюмінієвому корпусі, що кріпиться до бокових стінок корпусу показаний на рис. 1.1.

На передній панелі розміщено ЖКІ, два перемикачі та чотири круглих отвори для вхідних гнізд. Задня кришка корпусу закривається чотирма гвинтами. Таке розміщення елементів забезпечує необхідний таплomasообмін, оскільки елементна база має незначну теплову потужність.

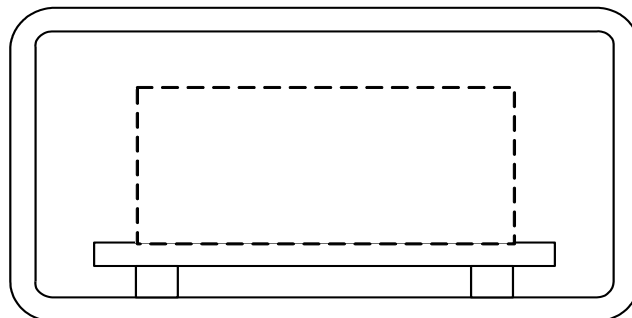


Рисунок 1.1 – Перший варіант компонування пристрою

Варіант №2. В даному варіанті розташуємо плату в горизонтальному положенні в пластмасовому корпусі (рисунок 1.2). Задня кришка корпусу закривається за направляючими. Масові та вартісні показники в цьому варіанті корпусу покращені за рахунок використання пластмаси. Конструкція пристрою максимально спрощена, відрізняється монолітністю і компактністю

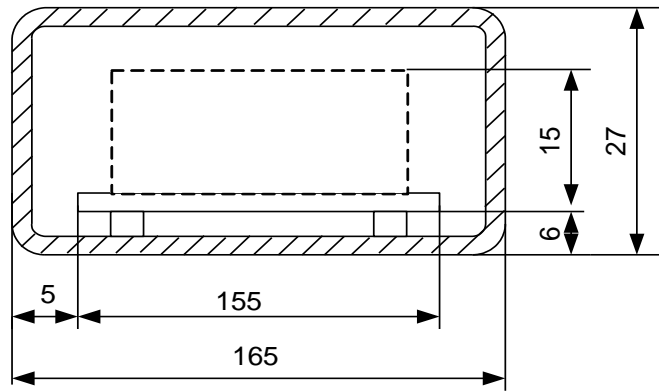


Рисунок 1.2 – Другий варіант компоновання пристрою

Для вибору оптимального варіанту конструкції обчислимо маси, габарити, надійності і собівартості різних варіантів компоновання пристрою, щоб можна було порівняти їх і обрати найкращий варіант із трьох.

1.4.3 Визначення габаритних розмірів пристрою

Спочатку визначимо орієнтовні габаритні розміри плат за формулою:

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст}} \cdot q, \quad (1.1)$$

де $\sum S_{\text{уст}}$ – це сума установочних площ усіх радіоелементів, котрі розташовані на платі,

q – це коефіцієнт запасу, $q = 2 \dots 4$.

Знайдемо $\sum S_{\text{уст}}$, додавши дані із таблиці 1.4:

$$\begin{aligned} \sum S_{\text{уст1}} &= 935 + 970 + 166 + 80 + 1683 + 224 + 200 = \\ &= 4258 \text{ мм}^2 \approx 42,58 \text{ (см}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum S_{\text{уст2}} &= 935 + 970 + 166 + 80 + 1683 + 224 + 200 = \\ &= 4258 \text{ мм}^2 \approx 42,58 \text{ (см}^2\text{)} \end{aligned}$$

маємо орієнтовну площу плати:

$$S_{\text{плати1}}^{\text{op}} = 4258 \cdot (2 \dots 4) = (8516 \dots 17032) \text{ (мм}^2\text{)}.$$

$$S_{\text{плати2}}^{\text{op}} = 4258 \cdot (2 \dots 4) = (8516 \dots 17032) \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Таким чином площа та розміри плат такі:

$$S_{\text{плати1}} = S_{\text{плати2}} = 10850 \text{ (мм}^2\text{)},$$

$$a_1 = a_2 = 155 \text{ мм}; \quad b_1 = b_2 = 70 \text{ (мм)}.$$

Висота корпусу визначається максимальною висотою радіокомпонентів. В нашому випадку у пристрої самим високим є підстроювальний резистор :

$$h_{\text{max}} = 13 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу, скомпонованого за першим варіантом, визначаємо так.

Внутрішній об'єм визначається від обсягом, який займають плати з радіокомпонентами (плюс враховуємо деякий запас).

Для першого варіанту матимемо такі результати.

внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{max}} + 10 \text{ мм} = 13 + 2 + 12 = 27 \text{ (мм)}$;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 155 + 10 = 165 \text{ (мм)}$;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 70 + 10 = 80 \text{ (мм)}$;

зовнішні габарити (з врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 27 + 2 \cdot 2 = 31 \text{ (мм)}$;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 165 + 4 = 169 \text{ (мм)}$;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 80 + 4 = 84 \text{ (мм)}$.

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{КОРП}} = V_{\text{ЗОВН}} = 3,1 \cdot 16,9 \cdot 8,4 = 440,1 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{II}} = V_{\text{корп}} = 440,1 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Для другого варіанту маємо:

внутрішні розміри:

а) висота $h_{\text{вн}} = h_{\text{мах}} + 10 \text{ мм} = 13 + 2 + 12 = 27 \text{ (мм)}$;

б) довжина $a_{\text{вн}} = 155 + 10 = 165 \text{ (мм)}$;

в) ширина $b_{\text{вн}} = 70 + 10 = 80 \text{ (мм)}$;

зовнішні габарити (із врахуванням товщини корпусу):

а) висота $h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 27 + 2 \cdot 2 = 31 \text{ (мм)}$;

б) довжина $a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 165 + 4 = 169 \text{ (мм)}$;

в) ширина $b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \cdot t_{\text{стінки}} = 80 + 4 = 84 \text{ (мм)}$.

Об'єм корпусу розраховуємо так:

$$V_{\text{КОРП}} = V_{\text{ЗОВН}} = 3,1 \cdot 16,9 \cdot 8,4 = 440,1 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{прист}}^{\text{II}} = V_{\text{корп}} = 440,1 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Отримані дані заносимо в таблицю 1.6.

1.4.4 Визначення маси пристрою

Знаходимо об'єм плати:

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} \cdot h_{\text{плати}} = 108,5 \cdot 1,5 = 162,8 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Знаходимо масу друкованої плати:

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \cdot \rho_{\text{текст}} = 162,8 \cdot 1,4 = 24,36 \text{ (г)},$$

Масу радіоелементів знайдемо з таблиці 1.4. Маса елементів, що розміщені на платі:

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 39,05 \text{ (г)},$$

маса елементів, що розміщені поза платою дорівнює нулю;

сумарна маса елементів:

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел}}^{\text{кор}} = 39,05 + 0 = 39,05 \text{ (г)}.$$

Маса пристрою – це маса корпусу, плати і елементів.

Для першого варіанту маємо:

Маса корпусу:

$$m_{\text{КОРП}} = (V_{\text{ЗОВН}} - V_{\text{ВН}}) \cdot \rho_{\text{МАТ}} = (440,1 - 2,7 \cdot 16,5 \cdot 8) \cdot 2,7 = 195,99(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{I}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 195,99 + 24,36 + 39,05 = 259,40 \text{ (г)}.$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{КОРП}} = (V_{\text{ЗОВН}} - V_{\text{ВН}}) \cdot \rho_{\text{МАТ}} = (440,1 - 2,7 \cdot 16,5 \cdot 8) \cdot 1,4 = 135,44(\text{г}),$$

маса пристрою:

$$m_{\text{прист}}^{\text{II}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 135,44 + 24,36 + 39,05 = 198,85(\text{г)}.$$

1.4.5 Розрахунок надійності пристрою

Як відомо, надійність – один з основних параметрів виробу. Після її обчислення робляться висновки про правильність вибраної схеми та конструкції. Надійність приладу залежить від надійності та кількості елементів, що використовуються, числа зв'язків між ними, способами кріплення елементів і видами їх з'єднань між собою. Окрім того, суттєвий вплив мають зовнішні фактори, теплові та електричні навантаження елементів приладу [7].

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності елементів і умовами експлуатації. Інтенсивності відмов радіоелементів за нормальних умов є вихідними показниками розрахунку надійності [7].

Скористаємось методикою розрахунку експлуатаційної надійності згідно з [2] використовуючи математичні моделі.

Математична модель має вигляд:

$$\lambda_e = \lambda_0 \cdot \prod_i k_i, \quad (1.2)$$

де λ_e – це експлуатаційна інтенсивність відмов, c^{-1} ;

λ_0 – йе інтенсивність відмов за нормальних умов і номінального електричного навантаження, c^{-1} ;

k_i – йе складові коефіцієнти математичної моделі.

Сумарна інтенсивність відмов для електронної апаратури:

$$\lambda_{EA} = K_{AM} \cdot K_{ОБСЛ} \cdot \sum_{i=1}^N \lambda_{ei}, \quad (1.3)$$

де K_{AM} – це коефіцієнт, який визнається амортизацією електронної апаратури; при відсутності системи амортизації $K_{AM} = 1$;

$K_{ОБСЛ}$ – коефіцієнт, який визначається якістю технічного обслуговування

електронної апаратури; для побутових виробів приймається $K_{\text{ОБСЛ}} = 1$;

λ_{ei} – це експлуатаційна інтенсивність i -го типу електронної апаратури;

n – це число типів електронних елементів у пристрої.

Так як розроблюваний пристрій є стаціонарним та призначений для використання в лабораторних умовах, коефіцієнт умов експлуатації $K_e = 1$ [1, 2].

Тепер запишемо математичні моделі для кожного з елементів приладу і розрахуємо значення інтенсивностей відмов.

Для керамічних конденсаторів:

$$\lambda_E = \lambda_{\text{ОСГ}} \cdot K_P \cdot K_C \cdot K_e, \quad (1.4)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 2.6 [2];

K_C – коефіцієнт, який визначається ємністю конденсатора, з таблиці 2.8 [7].

Так як на конденсаторі максимальна напруга падає тоді, коли вона дорівнює напрузі живлення, то співвідношення U/U_H :

$$\frac{U}{U_H} = \frac{5}{10} = 0,5,$$

тому $K_P = 0,15$, а $K_C = 0,9$ (в середньому), то отримуємо:

$$\lambda_E = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,0014 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для мікросхем:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (1.5)$$

маємо:

$$\lambda_E = 0,52 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,52 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для постійних недротяжних вуглецевих резисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R, \quad (1.6)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [2]; $K_P = 0,57$;

K_R – коефіцієнт, який визначається опором резистора, з таблиці 3.7 [7], $K_R = 0,7$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,0119 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для підстроювальних недротяних резисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_e \cdot K_R \cdot K_{S1}, \quad (1.7)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.6 [2]; $K_P = 0,57$;

K_R – коефіцієнт, який визначається опором резистора, за таблицею 3.7 [7], $K_R = 0,7$ (для резисторів опором $1 \dots 100$ кОм);

K_{S1} – коефіцієнт, який визначається за напругою, котра падає на резисторі, за таблицею 3.9 [7] $K_{S1} = 1,05$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,03 \cdot 10^{-6} \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 0,013 \cdot 10^{-6} (\text{год}^{-1}).$$

Для транзисторів:

$$\lambda_E = \lambda_{0CG} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e, \quad (1.8)$$

де K_P – коефіцієнт навантаження, визначається з таблиці 3.9 [2]; $K_P = 0,36$ (за коефіцієнта навантаження $0,7$);

K_Φ – коефіцієнт, який визначається функціональним режимом роботи, за таблицею 3.13 [20], $K_\Phi = 1,5$;

$K_{ДН}$ – коефіцієнт, який визначається потужності варикапа, за таблицею 3.12

[2], $K_{ДН} = 0,5$ (потужність становить $0,22 \text{ Вт} < 1 \text{ Вт}$);

K_{S1} – коефіцієнт, що залежить від навантаження за напругою, згідно таблиці 3.14 [2] $K_{S1} = 1,0$. Маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,078 \cdot 10^{-6} (c^{-1}).$$

Для діодів маємо:

$$\lambda_E = \lambda_{0CT} \cdot K_P \cdot K_\Phi \cdot K_{ДН} \cdot K_{S1} \cdot K_e \quad (1.9)$$

де K_P – це коефіцієнт навантаження, який визначається за таблицею 3.9 [2]; $K_P = 0,36$ (за коефіцієнта навантаження 0,7);

K_Φ – це коефіцієнт, який визначається функціональним режимом роботи, з таблиці 3.13 [2], $K_\Phi = 1,5$;

$K_{ДН}$ – коефіцієнт, що залежить від потужності діода, з таблиці 3.12 [2], $K_{ДН} = 0,5$ (потужність становить $0,22 \text{ Вт} < 1 \text{ Вт}$);

K_{S1} – коефіцієнт, котрий визначається навантаженням за напругою, за таблицю 3.14 [7] $K_{S1} = 1,0$. Тоді маємо:

$$\lambda_E = 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 0,36 \cdot 1,5 \cdot 0,65 \cdot 1,0 \cdot 1 = 0,087 \cdot 10^{-6} (c^{-1}).$$

Для роз'ємів:

$$\lambda_E = \lambda_0 \cdot K_e, \quad (1.10)$$

маємо:

$$\lambda_{E1} = 0,01 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,01 \cdot 10^{-6} (zod^{-1}),$$

$$\lambda_{E2} = 0,0013 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 0,0013 \cdot 10^{-6} (zod^{-1})$$

Занесемо результати обчислень до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Експлуатаційні інтенсивності відмов елементів пристрою

Елемент	Експлуатаційна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$	Кількість елементів	Сумарна інтенсивність, $\times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
Конденсатори	0,0014	16	0,0224
Мікросхеми	0,1000	12	1,20
Резистори пост.	0,0040	38	0,152
Резистори підстроювальні	0,0130	3	0,039
Транзистор	0,0780	3	0,234
Діод	0,0870	16	1,392
Роз'єми	0,0113	4	0,0452
Плата	0,5000	1	0,5
Корпус	0,0500	1	0,05

Сумарна інтенсивність відмов:

$$\sum \lambda = 0,0224 + 1,2 + 0,152 + 0,039 + 0,234 + 1,392 + 0,0452 + 0,5 + 0,05 = 3,63 \cdot 10^{-6} (\text{год}).$$

Надійність характеризується напрацюванням на відмову, яке рохрахосується за формулою (1.11):

$$T = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} (\text{год}) \quad (1.11)$$

Підставимо дані:

$$T = \frac{1}{3,63 \cdot 10^{-6}} = 275482 (\text{год}).$$

Середній час напрацювання на відмову складає $T=275482$ год. Цей розрахунок здійснено для другого варіанту компоновання.

Оскільки радіоелементи в обох варіантах однакові, то надійність буде однаковою.

Результати обчислень заносимо в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Характеристики трьох варіантів конструкції

Параметр	I	II
Об'єм V , см^3	440,10	440,10
Маса m , г	259,40	198,85
Надійність λ , $\times 10^{-6}$ год $^{-1}$	3,63	3,63
Собівартість, грн	120	92,48

1.4.6 Обґрунтування вибору оптимального варіанту

У даній розробці важливим є забезпечення мінімізації габаритів і маси нового виробу. Вважаємо, що кращим буде той варіант рішення задачі проектування, котрий зможе забезпечити мінімальні габарити та масу нової розробки при їх відповідності нормативним даним.

Отже, вибір оптимального варіанту конструкції будемо виконувати методом комплексного показника [10]. Для цього потрібно задати пріоритетні показники: об'єм, масу, інтенсивністю відмов та собівартість. Комплексний показник розраховується за формулою (1.12) [10]:

$$Q = K_1 \cdot \frac{M}{M_{T3}} + K_2 \cdot \frac{V}{V_{T3}} + K_3 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{T3}} + K_4 \cdot \frac{C}{C_{T3}} \quad (1.12)$$

де M - маса пристрою;

V - об'єм пристрою;

λ - інтенсивність відмов;

C – собівартість виробу;

$V_{ТЗ}$, $M_{ТЗ}$, $\lambda_{ТЗ}$, $C_{ТЗ}$ – це об'єм, маса, інтенсивність відмов та собівартість приладу відповідно;

K_1 , K_2 , K_3 , K_4 – вагові коефіцієнти, що дорівнюють 0,5, 1,0; 0,8 та 1,0 відповідно.

Обчислимо комплексний показник для розглянутих варіантів:

$$Q_1 = 0,5 \cdot \frac{440,1}{450} + 1 \cdot \frac{259,40}{210} + 0,8 \cdot \frac{3,63 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{120}{100} = 3,219;$$

$$Q_2 = 0,5 \cdot \frac{440,1}{450} + 1 \cdot \frac{198,85}{210} + 0,8 \cdot \frac{3,63 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} + 1 \cdot \frac{92,48}{100} = 2,649.$$

Оптимальною є конструкція з найменшим значенням комплексного показника. Як можна побачити з наближених розрахунків, коефіцієнт Q_2 має найнижче значення, що і підтверджує правильність вибору другого варіанту конструкції приладу.

До того ж, його технічні характеристики і експлуатаційні параметри згідно другого варіанту компоновання, істотно відрізняються від першого. Це стосується як прогресивних методів виготовлення корпусу (пресуванням), так і підвищення надійності пристрою. Тому можна вважати, що розробка конструкції цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювання за другим варіантом буде більше вигідною як з технічної, так і економічної точки зору.

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИЛАДУ

2.1 Розробка конструкції друкованої плати

2.1.1 Вибір типу друкованої плати

Друковані плати поділяються на односторонні, двосторонні (зі з'єднанням шарів та без нього), багатошарові (із послідовним з'єднанням шарів, із попарним з'єднанням шарів і з наскрізними отворами) [14].

Односторонні плати відрізняються:

- а) встановленням радіоелементів безпосередньо на поверхню матеріалів;
- б) можливістю використання додаткових перемичок (до 5%);
- в) досить низькою вартістю і 1-2-ми класами щільності.

Двосторонні плати відрізняються:

- а) високими комутативними якостями;
- б) підвищеною міцністю з'єднання;
- в) високою вартістю.

Оскільки розроюлюваний пристрій має у своєму складі шість мікросхем, то для покращення умов налагодження передбачається розмістити його на двох платах. Це призводить до зменшення кількості елементів на одній платі та можливості екранування аналогової частини пристрою. Тому оберемо двосторонню плату – це спростить процес електронного трасування у пакеті САПР.

2.1.2 Вибір класу точності друкованої плати

Враховуючи, що крок координатної сітки, згідно ГОСТ 10317-82, дорівнює 1,25 мм, і трасування не є дуже складним, для даного пристрою оптимальним варіантом буде обрати 2-й клас точності друкованої плати.

Другий клас характеризується такими елементами конструкції:

- а) ширина провідника в широких місцях – 0,75мм;

- б) ширина провідника у вузьких місцях – 0,45мм;
- в) відстань між двома провідниками – 0,45мм;
- г) гарантійний поясок зовнішнього шару – 0,2мм;
- д) гарантійний поясок внутрішнього шару – 0,1мм

Ширина провідника в широких місцях задається наступним класом, тобто першим [9].

2.1.3 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу друкованої плати висуваються такі вимоги:

- високі електрофізичні властивості;
- висока технологічність;
- забезпечення високої адгезії;
- можливість працювати в умовах вакууму;
- мінімальні механічні короблення.

Таблиця 2.1 Властивості матеріалів друкованих плат

Параметр	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Щільність без фольги, кг/м ³	1300...1400	1300...1500	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	4,5...6	4,5...6	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹² ...10 ¹⁴	10 ¹⁴ ...10 ¹⁵
Діапазон робочих температур, °С	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	22	22	8...9

Для виготовлення друкованої плати у більшості випадків використовують склотекстоліт і гетинакс таких марок:

- ГФ – це фольгований гетинакс;
- СФ – це фольгований склотекстоліт;
- ФГС – це склотекстоліт фольгований травильний;
- СФПН – це склотекстоліт фольгований нагрівостійкий;
- СТФ – це склотекстоліт теплостійкий.

Товщина друкованої плати залежить від товщини вихідного матеріалу, окрім того, її обирають враховуючи елементну базу та навантаження.

Склотекстоліт має найкращі параметри, згідно таблиці 2.9 Саме тому склотекстоліт фольгований двосторонній марки СФ-2-35-1,5 обираємо як матеріал для друкованої плати. Він має товщину фольги 35 мкм, а товщина матеріалу з фольгою становить 1,5 мм. Такий склотекстоліт застосовується для виготовлення і двосторонніх і односторонніх плат.

2.1.4 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок обчислюємо враховуючи діаметри отворів

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{отв}} + 2 * \epsilon + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_D^2 + t_{\text{нв}}^2}, \quad (2.1)$$

де $d_{\text{отв}}$ - діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{отв}}$ - верхній допуск на діаметр отвору;

ϵ - ширина гарантійного пояса;

$\Delta t_{\text{в}}$ - верхній допуск на ширину провідника;

$\Delta t_{\text{тр}}$ - допуск на підтравлювання діелектрика в отворі;

T_d - позиційний допуск розміщення отворів;

T_D - позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок;

$\Delta t_{\text{нв}}$ - нижній допуск на ширину провідника.

Для двоторонньої плати другого класу значення параметрів наступні:

$$\Delta d_{\text{отв}} = 0,05 \text{ мм}; \quad b = 0,2 \text{ мм}; \quad \Delta t_b = 0,1 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{тр}} = 0; \quad T_d = 0,15 \text{ мм};$$

$$T_D = 0,25 \text{ мм}; \quad \Delta t_{\text{нв}} = 0,1 \text{ мм},$$

Діаметри отворів обраховуємо так:

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2 \dots 0,4),$$

$d_{\text{вив}}$ – це діаметри виводів елементів.

В приладі елементи мають такі діаметри виводів:

$$0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 \text{ (мм)}.$$

Оптимізуємо діаметрів отворів:

$$d_1 = 0,2 + 0,3 = 0,5 \text{ (мм)};$$

$$d_2 = 0,8 + 0,2 = 1,0 \text{ (мм)}.$$

Маємо два діаметри отворів:

$$d_1 = 0,5 \text{ мм.}$$

$$d_2 = 1,0 \text{ мм}$$

Обчислюємо діаметр контактних площадок:

$$D_1 = 0,5 + 0,77 = 1,27 \text{ (мм)}.$$

$$D_2 = 1,0 + 0,77 = 1,77 \text{ (мм)}.$$

2.1.5 Розрахунок ширини провідників

Розрахунок ширини провідників виконується для шин живлення і для інформаційних провідників.

Для шин живлення маємо:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{дон}} \cdot t} [\text{мм}], \quad (2.2)$$

де $j_{\text{дон}}$ – це допустима щільність струму, для двосторонньої виготовленої комбінованим методом плати $j_{\text{дон}} = 48 \text{ А/мм}^2$,

t – це товщина провідника, $t = 35 \text{ мкм}$,

I_{\max} - максимальний постійний струм, що протікає через провідник, $I_{\max} = 0,06 \text{ А}$. Обчислюємо:

$$b_{\min} = \frac{0,06}{48 \cdot 0,035} = 0,027 \text{ мм} = 27 \text{ мкм} (< 450 \text{ мкм}).$$

Обчислимо мінімальну ширину провідника з умови допустимого падіння рівня напруги :

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{дон}} \cdot t},$$

де ρ - це питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$,

I_{\max} – струм, зщо протікає по провіднику, $I_{\max} = 0,06 \text{ А}$,

l_{\max} – максимальна довжина провідника, $l_{\max 1} = 0,06 \text{ м}$, $l_{\max 2} = 0,05 \text{ м}$

$U_{\text{дон}}$ – допустиме падіння рівня напруги (складає 5% від напруги живлення $U_{\text{дон}} = 12 \cdot 0,05 = 0,6 \text{ В}$),

t – це товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0,06 * 0,0175 * 0,06}{0,6 * 0,035} = 0,00237 \text{ мм} = 2,37 \text{ мкм} (< 450 \text{ мкм}).$$

$$b_{\min} = \frac{0,06 * 0,0175 * 0,05}{0,6 * 0,035} = 0,00194 \text{ мм} = 1,94 \text{ мкм} (< 450 \text{ мкм}).$$

Обчислені значення ширини провідників не перевищують обраних для 2-го класу точності.

2.1.6 Трасування друкованої плати

Встановлення навісних елементів на друкованій платі виконується згідно з ОСТ4.ГО.010.030 та ОСТ4.ГО.010.009. Потрібно враховувати такі фактори при розташуванні елементів як мінімізація габаритних розмірів, забезпечення високої надійності, забезпечення ремонтпридатності та тепловідводу .

При трасуванні провідників потрібно досягнути мінімальних довжин зв'язків, мінімізувати паразитні зв'язків між провідниками та елементами і максимально рівномірно розподілити навісні елементи на друкованій платі.

Обираємо крок координатної сітки рівний 1,25 мм. Координатна сітка розташовується згідно з ГОСТ 2.417-78. Всі наступні операції виконуються автоматизовано за допомогою системи автоматизованого проектування OrCAD Release 9.1 [13].

В програмі Capture створюємо схему електричну принципову даного пристрою. Перевіряємо правильність схеми і створюємо список з'єднань за допомогою функції Creat NetList для експортування схеми в програму Layout для трасування друкованої плати. Після цього запускаємо Layout. Відкриваємо метричну систему metrik.tch та записуємо файл програми Capture з схемою електричною принциповою в файл з розширенням .mnl.

Після цього на екрані з'являється вікно трасування друкованої плати з елементами нашої схеми.

Для виділення елемента на полі для трасування варто лише вибрати його і натиснути кнопку “Ok”, тоді зображення компонента стає доступним для редагування, його можна буде перенести в інше місце за допомогою миші, а також обертати навколо власної осі за допомогою клавіші “R” тощо. Написи здійснюються після клацання курсором на елементі – з'явиться опція для необхідних дій.

Для оптимального розміщення елементів на платі можна скористатись опцією „Auto > AutoPlace > Board”. Розмістивши елементи у доцільному порядку, заходимо у опцію “Auto > Autorouters > Board”. Після натиснення вводу програма виконає трасування плати за заданими раніше параметрами.

За допомогою інструментів для рисування, які розташовані на панелі інструментів, проводимо контури плати. Подальшу роботу із графічними зображеннями будемо виконувати у програмі “Visio-XP”, де дуже зручно працювати із шарами і яка має додаткові можливості порівняно із програмами САПР.

2.2 Розрахунок плати на вібростійкість

Знаходимо частоту власних коливань плати за виразом:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 * a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M} ab}, \quad (2.3)$$

де a , b - довжина і ширина плати: $a = 155$ мм, $b = 70$ мм;

D -циліндрична жорсткість:

$$D = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \nu^2)}, \quad (2.4)$$

де E - модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$;

h – це товщина плати, $h = 1,5 \text{ мм}$;

ν – це коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,22$;

M – це маса друкованої плати з елементами,

$$M_{\text{пл}} = 24,36 + 39,05 = 63,41 \text{ (г)},$$

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,22^2)} = 9,47;$$

$$f_{0\text{пл}} = \frac{3,14}{2 \cdot 0,155^2} \left(1 + \frac{0,155^2}{0,07^2}\right) \sqrt{\frac{9,47}{0,0634} \cdot 0,155 \cdot 0,07} = 490,83 \text{ (Гц)}.$$

$$f \neq f_{0\text{пл}}$$

$$120 \text{ Гц} \neq 490,83 \text{ Гц}.$$

Отже, частота власних коливань не співпадає з частотою з технічного завдання, тому співвідношення розмірів друкованої плати задовольняють вимоги з вібростійкості.

Знаходимо коефіцієнт динамічності за виразом:

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{(1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}{\sqrt{(1 - \eta_{11}^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \eta_{11}^2}}, \quad (2.5)$$

де $K(x)$, $K(y)$ – це залежність коефіцієнта від коливань. У випадку, якщо обидва краї закріплені $K(x) = K(y) = 1,3$;

η - коефіцієнт розстроювання:

$$\eta_{\text{пл}} = f/f_0 = 120/490,83 = 0,244.$$

ε - показник згасання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$;

λ - декремент згасання $\lambda = (2...10) \cdot 10^{-2}$.

Маємо:

$$K_{\text{дин пл}} = \sqrt{\frac{(1 + [1,3 \cdot 1,3 - 1] \cdot 0,244^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,244^2}{(1 - 0,244^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,244^2}} = \sqrt{\frac{1,08}{0,94}} = 1,072.$$

Віброзміщення визначається за формулою:

$$S_B = \xi_0 \cdot K_d, \quad (2.6)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 (f_0)^2}$$

де a_0 – віброприскорення, $a_0 = 2g = 19,8 \frac{M}{c^2}$,

$$\xi_{0 \text{ пл}} = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 490,83^2} = 0,21 \cdot 10^{-5} \text{ (мм)},$$

$$S_{B \text{ пл}} = 0,21 \cdot 10^{-5} \cdot 1,072 = 0,22 \cdot 10^{-5} \text{ (м)}.$$

Визначаємо прогин плати:

$$\delta_{\text{доп пл}} = S_{B \text{ пл}} - \xi_{0 \text{ пл}} = 0,22 \cdot 10^{-5} - 0,21 \cdot 10^{-5} = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ (мм)},$$

$$\delta_{\text{гран пл}} = \delta_{\text{доп.пл}} \cdot l_{\text{пл}}^2 = 0,1 \cdot 10^{-5} \cdot 0,155^2 = 0,24 \cdot 10^{-7} \text{ (мм)}.$$

Як видно з виконаних обчислень, прогин друкованої плати не перевищує допустимого значення, тому можна зробити висновок, що вібраційні навантаження не чинитимуть впливу на роботу пристрою.

2.3 Аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати

При зростанні швидкодії схеми все більше значення мають питання високочастотних зв'язків між елементами. Зокрема, потрібно не лише визначити параметрів певної лінії зв'язку (опору, ємності, індуктивності), але і міри впливу їх одна на одну (паразитні ємність, взаємоіндуктивність тощо). Особливо важливим це є мікроелектронних виробках, оскільки час перемикання елементів становить одиниці наносекунд і щільність розміщення мікросхем є досить високою.

Електричні параметри елементів плати визначаються багатьма чинниками, які чинять вплив на зміну розрахункових величин: режиму роботи схеми, матеріалу захисних покриттів, технології виготовлення тощо. Достатньо складним є комплексне врахування всіх чинників, тому воно недоцільне на етапі проектування друкованої плати. Тут необхідний орієнтовний розрахунок, з достатнім ступенем точності, який перевіряється і уточнюється після виготовлення і дослідження першої партії друкованих плат [10, 11].

Метою розрахунку електромагнітної сумісності є визначення працездатності пристрою при дії перехресних завад в лініях зв'язку, а також зовнішніх електромагнітних полів [4].

1. Діелектрична проникність середовища між провідниками, що розташовані на зовнішній поверхні плати, вкритої лаком, дорівнює:

$$\varepsilon_r = 0,5 (\varepsilon_{\text{п}} + \varepsilon_{\text{л}}), \quad (2.7)$$

де $\varepsilon_{\text{п}} = 6$ – діелектрична проникність склотекстоліту;

$\varepsilon_{\text{л}} = 4$ – це діелектрична проникність лаку УР-231;

$$\varepsilon_r = 0,5 (6+4) = 5.$$

2. Знаходимо взаємну ємність та індуктивність провідників, що розташовані на одній поверхні плати:

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon_r}{\lg\left(\frac{2 \cdot \delta}{W + b}\right)} [\text{пФ}], \quad (2.8)$$

де $\delta = 4,5 \cdot 10^{-4}$ – це найменша відстань між двома провідниками, м;

$W = 3,5 \cdot 10^{-5}$ – це товщина провідного шару міді, м;

$b = 4,5 \cdot 10^{-4}$ – це ширина провідників для другого класу точності, м;

$$C = \frac{1,06 \cdot 5}{\lg\left(\frac{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-5} + 4,5 \cdot 10^{-4}}\right)} = 9,72 \text{ (пФ)}.$$

Знаходимо паразитну взаємоіндукцію між двома друкованими провідниками M , нГн за виразом [12]:

$$M = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_2}{S + 0,5 \cdot (t_1 + t_2)} - 1 \right) [\text{нГн}] \quad (2.27)$$

де S – відстань між провідниками, $S = 0,045$ см;

l_2 – довжина взаємного перекриття провідників, $l_{2\text{пл1}} = 4,5$ см; $l_{2\text{пл2}} = 2,95$ см;

t_1, t_2 – це ширина провідників, $t_1 = t_2 = 0,045$ см.

Маємо:

$$M_{\text{пл1}} = 2 \cdot 4,5 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 4,5}{0,045 + 0,5 \cdot (0,045 + 0,045)} - 1 \right) = 41,45 \text{ (нГн)}.$$

Із поведених розрахунків паразитних ємностей і індуктивностей можна зробити висновок, що їхні параметри лежать в межах норми і не потрібно додаткових засобів з їх зниження.

2.4 Тепловий розрахунок пристрою

Пристрій зазнає дії різних температур в процесі виробництва, зберігання і експлуатації. Сам пристрій є також джерелом тепла, так як ККД транзисторів і мікросхем дорівнює 50...60%, тому велика кількість енергії виділяється у вигляді тепла. Якщо ця енергія не розсіюється, то підвищується температура пристрою і зростає інтенсивність відмов елементів.

Отже, визначимо тепловий режим і оберемо систему охолодження аз методикою [9]. Початковими даними для розрахунку є наступні:

- а) внутрішні розміри пристрою: $0,042 \times 0,065 \times 0,05$ м;
- б) внутрішній об'єм пристрою $V = 193,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$;
- в) потужність розсіювання:

$$P = P_{рез} + P_{транз} + P_{мик} = 16 \cdot 0,065 + 0,1 \cdot 3 + 6 \cdot 0,15 = 2,24(\text{Вт}) ;$$

- г) коефіцієнт заповнення $K_{ЗАП} = 0,3$;

д) максимальна температура навколишнього середовища, котра обирається за найменшою температурою із гранично допустимих температур для всіх елементів пристрою) $T_{max} = +70^{\circ}\text{C} = 343\text{K}$;

е) гранично допустиме перегрівання повітря всередині пристрої при максимальній температурі повітря $T_{пов} = 35^{\circ}\text{C} = 308\text{K}$:

$$\theta_{в.дон} = 343 - 308 = 35(\text{K}).$$

Визначаємо коефіцієнт форми пристрою:

$$K_0 = \frac{H}{\sqrt[3]{V}}, \quad (2.9)$$

де H – це висота блоку, м;

V – це внутрішній об'єм пристрою, м³;

$$K_0 = \frac{0,042}{\sqrt[3]{193,2 \cdot 10^{-3}}} = 0,6.$$

Розрахуємо площу поверхні відведення тепла

$$S_3 = \sqrt[3]{V^2} \cdot \left(\frac{2}{K_0} + 4 \cdot K_{\text{зап}} \cdot \sqrt{K_0} \right), \quad (2.10)$$

маємо:

$$S_3 = \sqrt[3]{(1,03 \cdot 10^{-3})^2} \cdot \left(\frac{2}{0,47} + 4 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{0,47} \right) = 0,057(\text{м}^2).$$

Розрахуємо питомий тепловий потік нагрітої зони за формулою:

$$q_3 = \frac{\Phi}{S_3} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right], \quad (2.11)$$

де Φ – потужність розсіювання, котра складає 40% від споживаної:

$$\Phi = 0,4 \cdot 9,5 = 3,8(\text{Вт});$$

$$q_3 = \frac{3,8}{0,057} = 66,7(\text{Вт} / \text{м}^2).$$

Визначаємо перегрівання для апаратури з природною конвекцією за графіком на рисунку 13.31, в [4]:

$$M[\theta_B] = 40K .$$

Порівняємо значення $\theta_{\text{в.дон}} = 50K$ і одержане значення:

$$\theta_{\text{в.дон}} > M[\theta_B] ,$$

а отже, умови нормального теплового режиму забезпечено, природної конвекції для цього цілком достатньо.

3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

На сьогоднішній день робота розробника значно полегшується завдяки використанню комп'ютерних систем проектування. Вони забезпечують дуже багато функцій та можливостей, зокрема моделювання роботи пристрою за допомогою складних математичних моделей. Це дає змогу визначити як працює пристрій, його можливу реакцію на той чи інший чинник, вплив тієї чи іншої частини пристрою на загальну роботу.

Програма OrCad, як зазначалося раніше, дозволяє не тільки трасувати схему, але й ще промоделювати її, тобто продивитися форму сигналу, проаналізувати температурну залежність, порахувати величини вихідних та вхідних параметрів і таке інше. Це все дуже допомагає при проектуванні та аналізі електричних схем.

Моделювання проводиться в декілька етапів.

Розміщення символів сигналів. Після створення схеми моделюваного пристрою повинні бути введені символи джерел сигналів. В бібліотеці Sourcestm.slb є символи джерел сигналів, корті створюються програмою Stimulus Editor. Для створення джерел напруги і токи аналогових сигналів призначені символи VSTIM і ISTIM. DigStim — це джерело цифрового сигналу. Після подвійного нитиска по такому символі користувачеві пропонується ввести ім'я сигналу, причому за замовчуванням ім'я сигналу збігається з позиційним позначенням символу. Після цього керування передається програмі Stimulus Editor для вибору типу сигналу, який потрібен для аналізу перехідних процесів, і для введення його параметрів. У більшості випадків ці можливості завстосовують для задання саме цифрових сигналів. VSTIM і ISTIM – жжерела аналогових сигналів мають два атрибути DC і AC, які при аналізі частотної області визначають постійну складову напруги або струму й амплітуду сигналу. Значення цих атрибутів встановлюються командою Edit>Attribute.

Також у бібліотеці Source.sib є символи цифрових і аналогових сигналів, параметри яких визначаються за допомогою наведених атрибутів. При запов-

ненні атрибутів необхідно врахувати правила складання шаблонів символів TEMPLATE.

Простановка позиційних позначень. До здійснення моделювання схеми усім її компонентам, тобто діодам, транзисторам, резисторам, конденсаторам, тощо, потрібно привласнити унікальні імена, тобто позиційні позначення (Reference Designator). Зазвичай, позиційні позначення вводяться на етапі розміщенні компонентів на схемі. Але, якщо в процесі редагування частині компонентів надано співпадаючі позиційні позначення або якщо не для всіх компонентів проставлені позиційні позначення, то виконується команда Tools>Annotate. Також ця команда реалізує упакування компонентів. Упакування символів у фізично існуючі корпуси компонентів – це проставлення номерів секцій і вказівців типів корпусів.

Тип операції вибирається у діалоговому вікні команди в пункті Function:

- Package and Assign Reference Designators — це упакування компонентів і призначення позиційних позначень усім символам (простановці номерів секцій і вказівці типів корпусів) згідно Set Values for (це потрібно при розробленні друкованих плат);
- Assign Reference Designators Only — це призначення лише позиційних позначень компонентів без здійснення їхнього упакування, цього достатньо для здійснення моделювання;
- Undo Packaging — це видалення всіх атрибутів, які були проставлені у процесі зворотного коректування схеми по команді Tools>Back Annotate (необхідно при виникненні проблем при генерації провідників).

Метод простановки позиційних позначень компонентів вибирається у розділі Set Values for:

- All Except User-Assigned — це автоматична простановка позиційних позначень, імен секцій і типів корпусів окрім тих, які були проставлені користувачем;
- Only Unpackaged — це простановка позиційних позначень, імен секцій та типів корпусів, що ще не призначені;

- All — це простановка позиційних позначень, імен секцій та типів корпусів всім компонентам із перевизначенням вже існуючих.

Режим автоматичної простановки позиційних позначень компонентів при нанесенні їхніх символів на схему можна включити по команді Options>Auto-Naming позначивши курсором панель Enable Auto-Naming і задавши початковий номер позиційних позначень Starting Designator.

Недоліком є те, що при автоматичній простановці позиційних позначень і при виконанні команди Tools>Annotate всі позиційні позначення будуть розставлятися неупорядковано. Сема тому потрібно відредагувати позиційні позначення компонентів вручну перед випуском документації по ЕСКД.

Іменування провідників. Здійснюється по команді Edit>Label або після подвійного натиску кнопки миші на обраній ланці. При здійсненні аналізу деяких видів (спектральному, статистичному по методу Монте-Карло, розрахунку рівня шуму) потрібно вказувати імена вихідних змінних, які можуть бути потенціалами або різницями потенціалів вузлів і струми ланок. При записі вихідних змінних можна користуватися правилами програми PSpice, але посилання на імена вузлів провідника можливі лише якщо вони позначені на схемі.

Перевірка схеми. За командою Analysis>Electrical Rule Check здійснюється перевірка наявності у схемі виводів плаваючих компонентів, співпадаючих позиційних позначень і ін. Повнота перевірки буде тим більше, чим більше занесено в бібліотеку символів інформації про тип компонентів і їхніх виводів. При виявленні помилок на екран виводиться інформаційне повідомлення. Перелік помилок проглядається по команді File>View Messages.

Створення списку з'єднань. По команді Analysis>Create Netlist створюються список з'єднань схеми і завдання на моделювання, котрі заносяться у файли з розширеннями *.NET, *.ALS і *.CIR. При наявності помилок у схемі або директивах моделювання виводиться інформаційне повідомлення. У цих повідомленнях приведена інформація (INFO), попередження (WARNING) і помилки (ERROR). Якщо клацнути курсором по рядку помилок, це вікно закриється і курсор покаже на схемі вивід компонента зв'язаний з цією помилкою. За

командою File>View Messages або натисканням клавіші F10 можна повторно вивести інформаційне повідомлення.

За командою Analysis>Examine Netlist Файли проглядаються списків з'єднань за допомогою вбудованого текстового редактора. Вкрай рідко виникає необхідність у цьому при налагодженні нових схем і моделей компонентів.

Складання завдання на моделювання. Перед здійсненням моделювання потрібно скласти завдання на моделювання за командою Analysis>Setup. У вікні, що відкрилося, потрібні директиви моделювання відзначають курсором, (при цьому в графі Enabled проставляється галочка, а діалогові меню завдання директив відкривають натисканням відповідної кнопки.

Підключення бібліотек і інших файлів. Перед проведенням моделювання потрібно переконатися, що файли з математичними бібліотеками компонентів схеми підключено. Фірмові бібліотеки, котрі надаються разом із системою, перераховані у файлі NOM.LIB. Додаткові бібліотеки, які необхідні для моделювання файли, підключаються за командою Analysis>Library and Include Files. В рядку File Name вказується ім'я файлу, простіше це відшукати натисканням кнопки Browse. Потім залежно від типу файлу натискається одна з кнопок.

- Add Library — це бібліотеки математичних моделей (.LIB і .MOD файли);
- Add Include — це файли, що підключаються за директивою .INCLUDE;
- Add Stimulus — це зовнішні впливи (.STL файли).

Конфігурування програми побудови графіків Probe. Налаштування програми Probe здійснюється за командою Analysis>Prob> Setup, її меню має три розділи.

1) Розділ Probe Startup містить дві групи команд.

- Auto-Run Option (параметри автоматичного запуску програми);
- Automatically Run Probe After Simulation — автоматичний запуск програми Probe після закінчення моделювання;
- Monitor Waveforms (auto update) — це побудова графіків у процесі моделювання;
- Do not auto-run Probe — означає не запускати програму Probe автоматично.

- At Probe Startup – специфікація виведених графіків:

Restore last Probe session — це вивід даних останнього сеансу Probe;

Show all markers — це вивідення графіків, котрі відповідають всім маркерам;

Show selected markers — це вивідення графіків, котрі відповідають обраним на схемі маркерами;

None — графіки не виводяться.

2) Розділ Data Collection містить дві груп команд.

-Data Collection – перелік даних, котрі поміщаються у вихідний файл):

At Markers Only — тільки дані, відзначені маркерами;

AI — усі дані про схему;

Alt but Internal Subcircuits — усі дані про схему за винятком даних про підсхеми;

None — нічого.

- Text data file format (CSDF) — текстовий формат файлу даних, тобто розширення імені.TXT.

3) Розділ Checkpoint містить дві групи команд.

- Automatically load data for open checkpoints — це автоматичне завантаження даних для відкриття варіантів схем.

- Show Results in – означає вікна для показу результатів:

Same window for all schematics — в одному і тому ж вікні для всіх схем;

A separate window for each working schematic including its checkpoints – означає: в окремих вікнах для кожної основної схеми, у тому числі і для її варіантів;

A separate window for each schematic — означає: в окремих вікнах для кожної схеми.

Запуск програми моделювання PSpice. Моделювання поточної схеми починається після вибору команди Analysis>Simulate (або після натискання клавіші F11. При цьому команди Electrical Rule Check і Create Netlist виконуються автоматично, якщо вони не були виконані раніше.

Після завершення моделювання його результати, представлені в табличній формі, заносяться в текстовий файл *.OUT, дані для побудови графіків заносяться у файл *.DAT, що завантажується в програму Probe.

Перегляд результатів моделювання. Результати моделювання, представлені в текстовому виді у файлі .out, а саме параметри математичних моделей компонентів, текстовий опис схеми і директиви моделювання, результати статистичного аналізу по методу Монте-Карло, карта режиму по постійному струмі тощо проглядаються по команді Analysis>Examine Output або безпосередньо з меню програми PSpice. За допомогою програми Probe проглядаються графіки результатів моделювання, програма викликається автоматично після завершення моделювання, у випадку, коли в меню команди Analysis>Probe Setup була включена опція Auto Run Option. При виборі опції Auto Run Option виконується побудова графіків у процесі моделювання. Автономний виклик Probe здійснюється за командою Analysis>Run Probe або ж натисканням клавіші F12. В деяких випадках, наприклад при моделюванні схеми великого розміру або виконанні статистичного моделювання, файл даних.dat здобуває дуже великі розміри. Для його зменшення рекомендується включити опцію Data Collection: At Markers Only команди Analysis>Probe Setup — тоді тільки дані про перемінний, відзначений маркер заносяться в цей файл.

Можна викликати програму Probe в окремому вікні й одночасно переглядати графіки результатів і принципову схему аналізованого пристрою. У багатовіконному режимі, коли на екрані одночасно (або по черзі) розташовано вікна іграфічного редактора PSpice Schematics і програми Probe, дуже зручно користуватися маркерами, котрі проставляються по командах Markers. За цими командами спеціальними значками на схемі позначаються провідники або висновки компонентів, чиї струми або потенціали треба вивести на екран програми Probe. Можна нанести маркери на схему як до, так і після завершення моделювання. В останньому випадку потрібно ще додатково виконати команду Show All, що виводить на екран графіки усіх відзначених змінних або Show Selected, яка виводить на екран лише графіки обраних змінних. Натисканням правої кно-

пки миші завершується введення маркерів. Потім виводиться програмаProbe з побудованими графіками [13].

Перш за все потрібно намалювати схему в OrCad Capture. Для цього моделювання використаємо схему точного випрямляча, представлену на рис. 3.1.

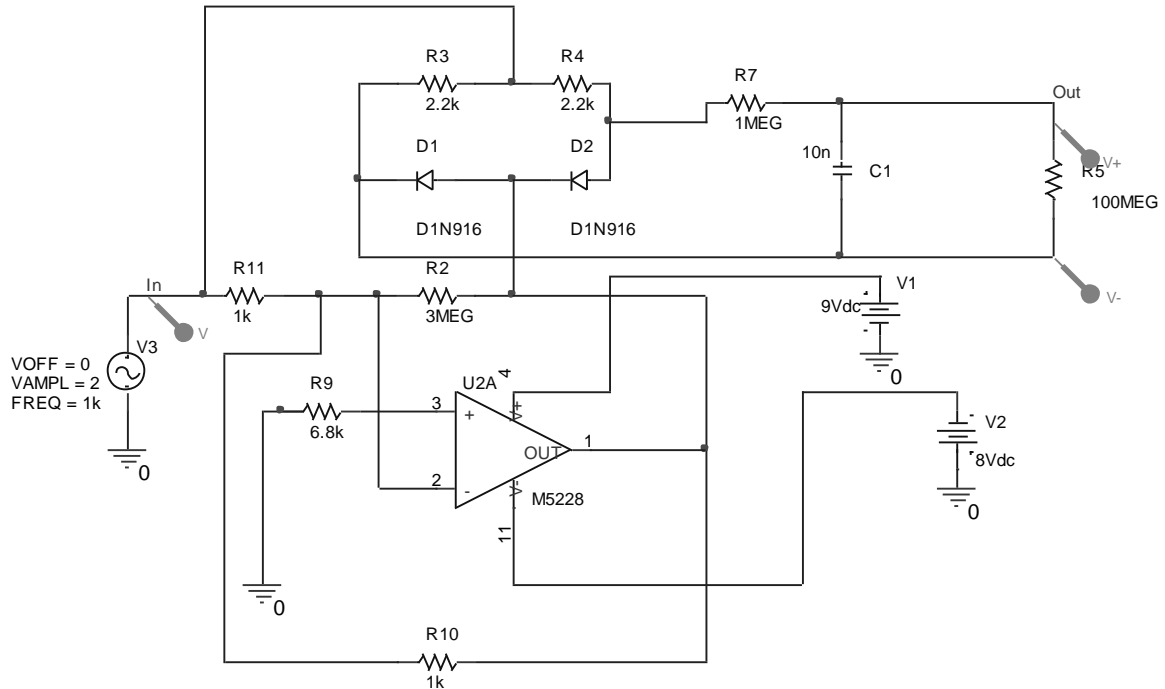


Рисунок 3.1 – Схема точного випрямляча

Для моделювання точного випрямляча потрібно подати на нього деяку вхідну напругу і отримати випрямлений вихідний сигнал.

Результати моделювання представлено на рис. 3.2.

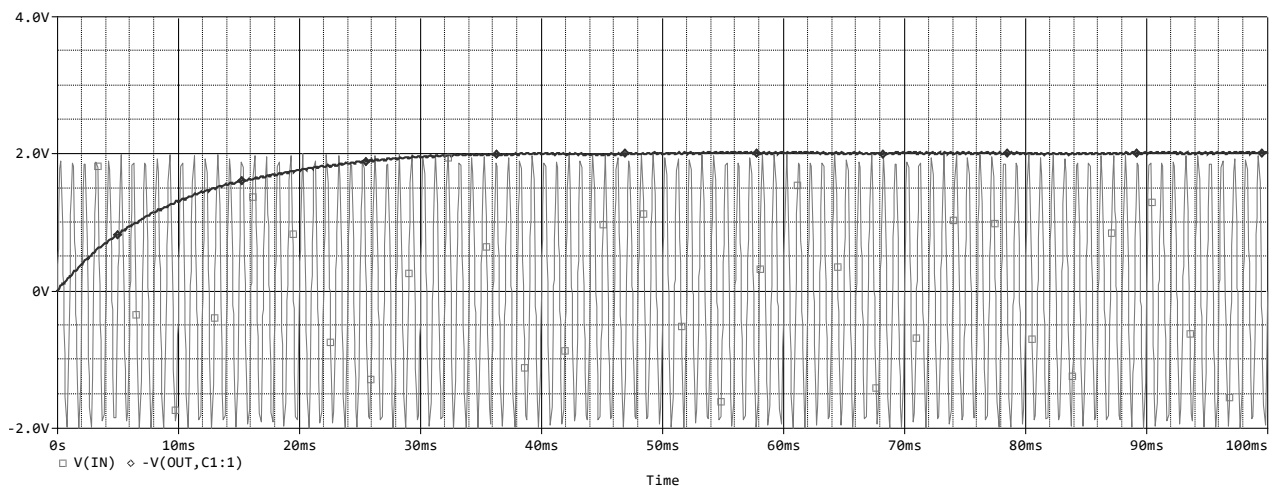


Рисунок 3.2 – Результати моделювання точного випрямляча

Як бачимо з рисунку 3.2, на виході випрямляча відбувається випрямлення сигналу, при подачі на вхід сигналу амплітудою 2В. Також проведено температурний аналіз схеми випрямляча для трьох температур -20 ; 20 і 60°C (рис. 3.3).

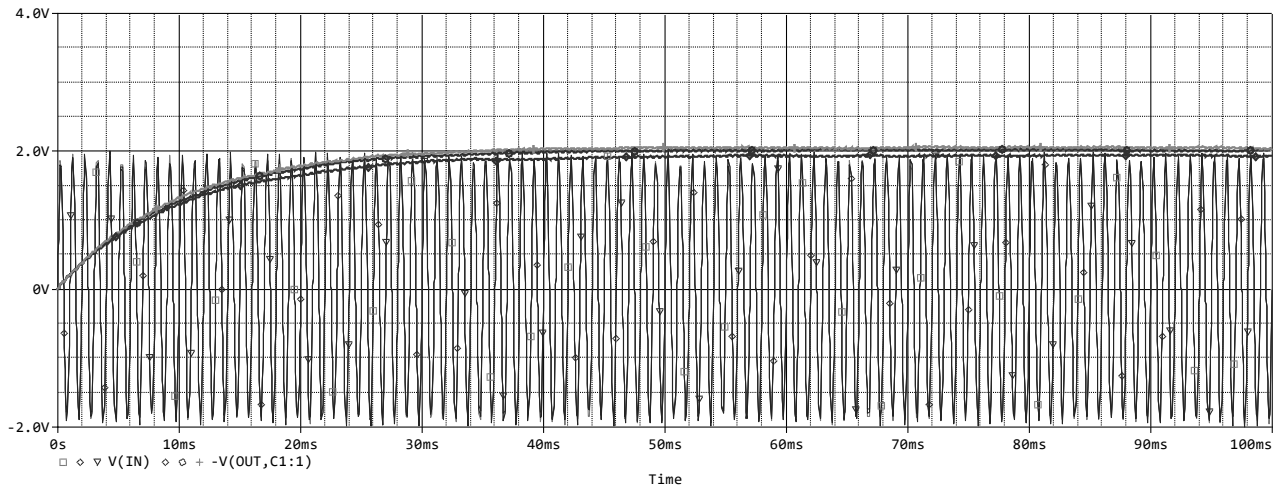


Рисунок 3.3 – Температурний аналіз схеми

Отже, таким чином, на основі проведених моделювань в програмі OrCad можна сказати, що цифровий мультиметр є стійким до нестабільностей температури. Пристрій буде нормально функціонувати в температурних межах $-20\dots 60^{\circ}\text{C}$.

В результаті проведеного моделювання ми впевнились у дієздатності нашого цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювання шляхом імітації роботи частини схеми з вхідним сигналом.

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик

Технологічність конструкції є однією з найважливіших характеристик РЕА. Під нею розуміють сукупність властивостей РЕА, котрі дають можливість оптимально використовувати матеріали, час і кошти при технічній підготовці виробництва, експлуатації і ремонті порівняно з відповідними показниками однотипних конструкцій того ж самого призначення.

З метою оцінювання технологічності РЕА застосовують відносні показники K_i і комплексний показник K_k , котрий обчислюють за середньозваженим значенням відносних показників з врахуванням коефіцієнтів φ_i , які характеризують вагову значимість показників – ступінь їх впливу на трудомісткість виготовлення виробу.

Прийнято, що значення відносних показників K_i лежить в межах $0 \leq K_i \leq 1$, а зростання показника відповідає вищій технологічності РЕА. Формула для обчислення відносного показника може мати вигляд простого відношення $\frac{a}{b}$ чи $1 - \frac{a}{b}$ [8].

Перший вираз використовується в тих випадках, коли величина наближується до b , це відповідає зростанню технологічності РЕА, другий - коли наближення величини a до b понижує технологічність. Коефіцієнт φ обчислюють так:

$$\varphi_i = \frac{1}{2^{i-1}}, \quad (4.1)$$

де i - порядковий номер показника технологічності в рангованій послідовності [6].

Для блоків радіотехнічного класу базовими показниками технологічності є: коефіцієнт підготовки радіоелементів $K_{ПРЕ}$ (для якого $\varphi = 1$), коефіцієнт скла-

дності збірки $K_{CЗБ}$ ($\varphi = 0,75$), коефіцієнт прогресивності формоутворення K_{Φ} ($\varphi = 0,31$), коефіцієнт автоматизації монтажу K_{AM} ($\varphi = 1$), коефіцієнт механізації контролю $K_{МК}$ ($\varphi = 0,5$), коефіцієнт повторюваності радіоелементів $K_{ПОВ РЕ}$ ($\varphi = 0,185$), коефіцієнт складності обробки $K_{C ОБ}$ ($\varphi = 0,11$).

Знайдемо ці коефіцієнти формулами, поданими нижче [12].

1. Коефіцієнт підготовки:

$$K_{ПРЕ} = 1 - \frac{N_{МПРЕ}}{N_{РЕ}}, \quad (4.2)$$

де $N_{МПРЕ}$ – це число елементів, виводи яких формують автоматизовано;

$N_{РЕ}$ - загальне число елементів у виробі;

$$K_{ПРЕ} = 1 - \frac{34}{37} = 0,082.$$

2. Коефіцієнт автоматизації монтажу:

$$K_{AM} = \frac{N_{AM}}{N_M}, \quad (4.3)$$

де N_{AM} – це число монтажних з'єднань, виконаних автоматизовано;

N_M – це загальна кількість з'єднань;

$$K_{AM} = \frac{208}{210} = 0,99.$$

3. Коефіцієнт складності збірки:

$$K_{CЗБ} = 1 - \frac{N_{ТСК}}{N_{ТВ}}, \quad (4.4)$$

де $N_{\text{ТСК}}$ – число типорозмірів вузлів, які під час складання потребують регулювання;

$N_{\text{ТВ}}$ – це загальна кількість типорозмірів вузлів;

$$K_{\text{СЗБ}} = 1 - \frac{1}{4} = 0,75.$$

4. Коефіцієнт механізації контролю:

$$K_{\text{МК}} = \frac{N_{\text{МК}}}{N_{\text{К}}}, \quad (4.5)$$

де $N_{\text{МК}}$ – число автоматизованих контрольних операцій;

$N_{\text{МК}}$ – це загальна кількість контрольних операцій;

$$K_{\text{МК}} = \frac{2}{4} = 0,5.$$

5. Коефіцієнт прогресивності формоутворення:

$$K_{\text{Ф}} = \frac{N_{\text{ПР}}}{N_0}, \quad (4.6)$$

де $N_{\text{ПР}}$ – це число деталей, виконаних прогресивним методом;

N_0 – це загальна кількість деталей;

$$K_{\text{Ф}} = \frac{2}{3} = 0,67.$$

6. Коефіцієнт повторюваності радіоелементів:

$$K_{\text{ПОВ РЕ}} = 1 - \frac{N_{\text{ТРЕ}}}{N_{\text{РЕ}}}, \quad (4.7)$$

де $N_{\text{ТРЕ}}$ – це число типорозмірів радіоелементів;

$N_{\text{РЕ}}$ – це загальна кількість радіоелементів;

$$K_{\text{ПОВ РЕ}} = 1 - \frac{9}{37} = 0,76.$$

7. Коefіцієнт складності обробки:

$$K_{\text{С ОБ}} = 1 - \frac{N_{\text{СТР}}}{N_0}, \quad (4.8)$$

де $N_{\text{СТР}}$ – це кількість деталей, виготовлених методом зняття стружки;

N_0 – загальна кількість деталей;

$$K_{\text{С ОБ}} = 1 - \frac{1}{3} = 0,67.$$

До показників, котрі обираються за базові, необхідно включити показники, що чинять найбільший вплив на технологічність конструкції РЕА деякого призначення і умови використання.

В таблиці 4.1 подано склад базових показників технологічності, їхня рангована послідовність за значимістю, а також коефіцієнти значимості φ_i для радіотехнічних виробів.

Таблиця 4.1 – Базові показники технологічності

Тип	$K_{\text{ПРЕ}}$	$K_{\text{АМ}}$	$K_{\text{С ЗБ}}$	$K_{\text{МК}}$	$K_{\text{Ф}}$	$K_{\text{ПОВ РЕ}}$	$K_{\text{С ОБ}}$
φ_i	1,00	1,00	0,75	0,50	0,31	0,185	0,11
K_i	0,082	0,99	0,75	0,50	0,67	0,76	0,67

Основним показником, призначеним для оцінювання технологічності конструкції – комплексний показник, що обчислюється на основі базових показників за формулою [7]

$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^S K_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^S \varphi_i}; \quad (4.9)$$

де K_i – це базовий показник відповідного класу блоків РЕА;

i – це порядковий номер показника в рангованій послідовності;

S – це загальна кількість взятих базових показників технологічності;

$$K_K = \frac{0,082 \cdot 1 + 0,99 \cdot 1 + 0,75 \cdot 0,75 + 0,5 \cdot 0,5 + 0,67 \cdot 0,31 + 0,76 \cdot 0,181 + 0,67 \cdot 0,11}{1 + 1 + 0,75 + 0,5 + 0,31 + 0,185 + 0,11} = 0,6$$

За відомим нормативним комплексним показником оцінка технологічності РЕА визначається як відношення досягнутого K_K до нормативного K_H , і воно має повинно задовольняти умові $\frac{K_K}{K_H} \geq 1$.

Для оцінювання технологічності даної конструкції приймаємо $K_H=0,5$, розраховуємо:

$$\frac{K_K}{K_H} = \frac{0,6}{0,5} \geq 1,2.$$

Як бачимо з розрахунків, $1,2 \geq 1$ - задовольняє умові, тобто технологічність є достатньою і не потребує заходів для її підвищення.

4.2 Розробка технології складання пристрою

Технологічною вважають таку конструкцію, потра в повній мірі відповідає експлуатаційним вимогам висунутим до виробу, та може бути виготовлена найбільш економічними технологічними процесами.

Навісні елементи, а саме – мікросхеми, транзистори, діоди, конденсатори, резистори, котушки перед монтажем та складанням мають пройти підготовку, під час якої їх випрямляють, підрізають, лудять та вигинають виводи.

Підготовка навісних деталей ведеться з використанням спеціальних пристосувань та установок, що механізують такі операції.

Технологічний процес складання та монтажу включає такі етапи:

- заготівлення монтажних проводів, зачищення, лудіння їх виводів, підготовки до паяння елементів;
- кріплення монтажних проводів і виводів деталей на платі;
- паяння з'єднань;
- контроль якості виконання робіт.

4.2.1 Технологічний процес виготовлення друкованої плати

Всі процеси виготовлення друкованої плати поділяються на: суббрактивні; адитивні; напівадитивні.

Суббрактивний процес – це отримання провідного малюнку вибірковою видаленням ділянок провідної фольги методом травлення.

Адитивний процес укладається у вибіркового осадженні вибіркового матеріалу на не фольгований матеріал основи.

Напівадитивний процес передбачає попереднє нанесення тонкого провідного покриття, яке потім видаляється з місць, на яких є прогалини.

У відповідності з [9] конструювання друкованої плати здійснюється з врахуванням наступних методів виготовлення:

- хімічний;

- позитивний комбінований;
- напівадитивний (електрохімічний).

Одностороння друкована плата виготовляється за допомогою хімічного методу. Даний метод здійснюється за рахунок простих операцій: нанесення фоторезисту; експонування; проявлення; травлення; зняття фоторезисту; свердління.

Виготовлення друкованої плати відбувається за таким технологічним процесом [12]:

- 1 Виготовлення заготовки фольгованого склотекстоліту шляхом різання листа дисковими фрезами діаметром 100 мм і товщиною 3 мм. Швидкість різання 100...120 мм/с.
- 2 Підготовка поверхні для нанесення фоторезисту. Механічна і хімічна зачистка поверхні мідної фольги, зачистка липким наждаком, промивка в проточній воді, обробка в 5% розчині соляної кислоти на протязі 30 с, промивання водою.
- 3 Нанесення фоторезисту методом поливу на поверхню фольги з одночасним центрифугуванням і сушкою. Швидкість центрифугування складає 100...150 об/хв, температура сушки 40 – 50 °С.
- 4 Експонування малюнку друкованої плати за допомогою фотошаблону з негативним зображенням схеми виконується в копіювальній рамці на протязі 10...15 хв.
- 5 Проявлення захисного малюнку теплою водою (температура 40 – 50 °С) в ванній з ультразвуковим коливанням.
- 6 Задублювання захисного малюнку виконується хімічним методом в 3% розчині хромового ангідриду.
- 7 Травлення міді з незахищених ділянок фольги здійснюється в травильному агрегаті типу КТ-38 протягом 15-18 хв, оброблення плати водним розчином хлорного заліза з наступною промивкою в холодній воді.
- 8 Зняття захисного шару ацетоном.
- 9 Свердління отворів станком.

- 10 Зенківка, свердло діаметром 1,5 мм.
- 11 Сушка.
- 12 Промивка в 10% розчині соляної кислоти.
- 13 Промивка в проточній воді.
- 14 Сушка.
- 15 Покриття провідників сплавом “Розе” методом занурення в ванну (температура 95 °C).
- 16 Нанесення епоксидної маски.
- 17 Маркування.

4.2.2 Технологія монтажу елементів на друкованій платі

Технологія монтажу з використанням простих компонентів для монтажу на поверхню і компонентів для монтажу в отвори плати проходить в такій послідовності:

- 1 Установка і фіксація компонентів в отвори плати.
- 2 Перевертання плати.
- 3 Нанесення адгезиву.
- 4 Розміщення і установка компонентів на поверхню плати.
- 5 Затвердіння адгезиву.
- 6 Перевертання плати.
- 7 Контроль якості збірки традиційних компонентів і поверхневих елементів.
Якщо існує брак – виправлення його і знову проведення контролю.
- 8 Пайка подвійною хвилею припою.
- 9 Очищення після пайки.
- 10 Контроль якості паяних з'єднань.
- 11 Ручне складання спеціальних компонентів.
- 12 Випробування.

Переваги даного типу монтажу: деякий вигреш в густині монтажу у порівнянні з традиційною технологією монтажу; одноступеневий процес пайки; можна використовувати те обладнання, яке є. Об'єм зменшується на 10 – 30 %.

Обмеження: обмежене застосування компонентів з великою кількістю виводів; для процесу потрібний адгезив; труднощі при розміщування компонентів.

4.2.3 Технологія виготовлення корпусу

Корпуса для даного приладу будуть виготовлятися з полістиролу УПН-0612П, ОСТ 6.05.406-80.

Отримувати вироби з пластмаси можна декількома способами:

- механічна обробка;
- пресування;
- лиття під тиском;
- пневматичне формування.

Для виготовлення корпусу для нашого пристрою будемо використовувати метод лиття під тиском, який дозволяє отримувати складні конфігурації деталей практично без відходів і без допоміжної обробки, або з незначною допоміжною обробкою.

Допуски, посадки деталей з пластмаси регламентовані ГОСТ 11710-71. Однією з основних вимог при виготовленні виробів з пластмаси є дотримання рівномірної товщини стінок в різних перерізах. Нерівномірність товщини стінок призводить до нерівномірної усадки, а це, в свою чергу до появи напружень, в результаті яких у виробах з'являються тріщини. Для попередження цих недоліків необхідно робити плавними всі переходи в стінках, запобігаючи гострих кутів і різниць, які перевищують відношення 1:3. Для економії матеріалу і скорочення часу виготовлення деталей в прес-формах, товщина стінок повинна бути мінімальною.

Найбільш чутливі до коробіння плоскі стінки. Для попередження коробіння в плоскі стінки вводять ребра жорсткості. Для підвищення механічної міцності виробів і їх елементів, покращення зовнішнього вигляду, зниження величини коробіння і полегшення виготовлення прес – форми, зовнішні і внутрішні кути виробів необхідно заокруглювати. Оптимальну величину радіусів заокруглень визначають виходячи з конструктивних зображень і експлуатаційних вимог. Найменш допустимі радіуси заокруглень, які рекомендуються для полістиролу 1...1,5 мм.

4.2.4 Технологія складання пристрою

Пристрій треба збирати в наступній послідовності:

- 1) проводяться зв'язки між друкованою платою та індикатором, кнопками і роз'ємами за допомогою монтажних проводів;
- 2) виконується кріплення батарейки до задньої стінки корпусу;
- 3) здійснюється посадка у спеціальні пази і закріплення плати до бокових та нижньої стінок корпусу;
- 5) закривається задня кришками до луску.

Отже, пристрій зібраний. Тепер потрібно нанести контрастною фарбою пояснювальні надписи до елементів, винесених на його корпус, та маркування назви приладу на кришку.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота з розробки та дослідження «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

Для наведеного випадку нами мають бути виконані такі етапи робіт:

- 1) проведено комерційний аудит науково-технічної розробки, тобто встановлення її науково-технічного рівня та комерційного потенціалу;
- 2) розраховано витрати на здійснення науково-технічної розробки;
- 3) розрахована економічна ефективність науково-технічної розробки у випадку її впровадження і комерціалізації потенційним інвестором і проведено обґрунтування економічної доцільності комерціалізації потенційним інвестором.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» є

оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [16].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає

Продовження таблиці 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні дорогі та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	3	4	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	3	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	2	2
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	33	34	32
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	33,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [16].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експе-	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» становить 33,0 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розраховуємо за формулою [17]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{na} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки:

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}} ; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Кількість вимірюваних величин	од.	6	7	1,16	0,3
Вага	г	220	110	2	0,1
Похибка вимірювання	%	3	2	1,5	0,15
Термін безвідмовної роботи	год.	5000	6000	1,2	0,25
Швидкість та легкість налаштування	Бали (0 - 10)	7	6	0,86	0,2

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,16 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,25 + 0,86 \cdot 0,2 = 1,25.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,25 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [16]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 15280,00 \cdot 44 / 22 = 30560,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	15280,00	694,55	44	30560,00
Інженер-розробник цифрової вимірювальної техніки	15000,00	681,82	40	27272,73
Інженер-метролог	15200,00	690,91	10	6909,09
Технік	7250,00	329,55	22	7250,00
Всього				71991,82

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [16];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 56,53 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{pl} = 56,53 \cdot 7,50 = 423,98 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника, грн
Монтаж обладнання	7,50	2	1,10	56,53	423,98
Підготовка робочого місця розробника цифрової вимірювальної техніки	12,00	3	1,35	69,38	832,55
Встановлення програмного забезпечення розробки електронних схем	6,20	4	1,50	77,09	477,95
Підготовка бази даних	10,00	3	1,35	69,38	693,79
Монтаж компонентів досліджуваної техніки	16,00	5	1,70	87,37	1397,86
Випробування дослідних блоків	10,00	5	1,70	87,37	873,66
Налагодження системи	4,00	6	2,00	102,78	411,14
Технічна підтримка експерименту	16,00	3	1,35	69,38	1110,07
Всього					6221,01

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (71991,82 + 6221,01) \cdot 10 / 100\% = 7821,28 \text{ (грн.)}$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.8)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (71991,82 + 6221,01 + 7821,28) \cdot 22 / 100\% = 18927,50 \text{ (грн.)}$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2 \cdot 176,00 \cdot 1,02 - 0 \cdot 0 = 359,04 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний АМОСОOL-500 (А4)	176,00	2	0	0	359,04
Папір для заміток АМОСОOL-В (А5)/70	95,00	2	0	0	193,80
Начиння канцелярське АМОСОOL	173,00	4	0	0	705,84
Органайзер офісний АМОСОOL light	122,00	4	0	0	497,76

Продовження таблиці 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Картридж для принтера HP-7021	950,00	2	0	0	1938,00
Диск оптичний COOL-CD/RW	26,00	4	0	0	106,08
FLASH-пам'ять KingsBAFF 32GB	220,00	1	0	0	224,40
Тека для паперів	101,00	5	0	0	515,10
Дріт монтажний	80,00	0,050	0	0	4,08
Спирт етиловий	92,00	0,240	0	0	22,52
Припій ПОС-61	590,00	0,040	0	0	24,07
Флюс БС-2	120,00	0,010	0	0	1,22
Кабель силовий	65,00	0,200	0	0	13,26
Всього					4605,18

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 3 \cdot 3,80 \cdot 1,02 = 11,63 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Конденсатори К53-4	3	3,80	11,63
Конденсатори К73-17	13	4,10	54,37
Резистори МЛТ	39	2,60	103,43
Резистори СПЗ-19	2	2,70	5,51
Транзистор КТ315	1	9,20	9,38
Транзистор КП303Е	1	8,60	8,77
Діоди Д9	4	6,20	25,30
Стабілітрони КС185А	2	15,00	30,60
Мікросхема 79L05	1	62,00	63,24
Мікросхема КР198НТ7	1	85,00	86,70
Мікросхема К561КП1	2	101,00	206,04
Мікросхема КР140УД1408	2	75,00	153,00
Мікросхема К544УД1	1	64,00	65,28
Мікросхема К561ИЕ11	1	45,00	45,90
Мікросхема КР572ПВ5	1	49,00	49,98
Мікросхема К544СА1	1	54,00	55,08
Мікросхема К555ЛИ1	2	62,00	126,48
Індикатор ИЖЦ5-4/8	1	150,00	153,00
Роз'єм СП-75-51-ЄФ	1	15,00	15,30
Перемикач ПД-2-2П4Н	2	21,00	42,84
Всього			1311,82

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 12300,00 \cdot 1 \cdot 1,03 = 12669,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Вольтметр	1	12300,00	12669,00
Осцилограф	1	69560,00	71646,80
Паяльна станція Ваку 280-as	1	4380,00	4511,40
Всього			88827,20

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних

для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог},i} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де $C_{\text{прог},i}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог},i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 8760,00 \cdot 1 \cdot 1,02 = 8935,20 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладний пакет розробника OrCad	1	8760,00	8935,20
Всього			8935,20

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{об}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $Ц_{об}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (28960,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 2413,33 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер розробника вимірювальної техніки	28960,00	2	2	2413,33
Електронно-графічна система проектування	42359,00	2	2	3529,92
Робоче місце інженера-розробника	9620,00	5	2	320,67
Монтажне устаткування	7250,00	4	2	302,08
Пристрої передачі даних	6660,00	4	2	277,50
Оргтехніка	8240,00	5	2	274,67

Продовження таблиці 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Приміщення лабораторії розробки вимірювальної техніки	418000,00	35	2	1990,48
ОС Windows	6520,00	2	2	543,33
Прикладний пакет Microsoft Office	6510,00	2	2	542,50
Принтер	8350,00	5	2	278,33
Всього				10472,81

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,26 \cdot 320,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 624,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника вимірювальної техніки	0,26	320,0	624,00
Електронно-графічна система проектування	0,42	320,0	1008,00
Робоче місце інженера-розробника	0,10	320,0	240,00
Монтажне устаткування	0,06	25,0	11,25
Пристрої передачі даних	0,09	320,0	216,00
Оргтехніка	0,36	2,3	6,21
Принтер	0,25	5,0	9,38
Вольтметр	0,06	100,0	45,00
Осцилограф	0,08	100,0	60,00
Паяльна станція Ваку 280-as	0,22	25,0	41,25
Всього			2261,09

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та при-

ладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (71991,82 + 6221,01) \cdot 20 / 100\% = 15642,57 \text{ (грн.)}$$

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (71991,82 + 6221,01) \cdot 30 / 100\% = 23463,85 \text{ (грн.)}$$

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{ів}}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де $H_{\text{ів}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{ів}} = 50\%$.

$$I_{\text{в}} = (71991,82 + 6221,01) \cdot 50 / 100\% = 39106,41 \text{ (грн.)}$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.18)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (71991,82 + 6221,01) \cdot 100 / 100\% = 78212,83 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{ood} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.19)$$

$$B_{заг} = 71991,82 + 6221,01 + 7821,28 + 18927,50 + 4605,18 + 1311,82 + 88827,20 + 8935,20 + 10472,81 + 2261,09 + 15642,57 + 23463,85 + 39106,41 + 78212,83 = 377800,56 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.20)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ZB = 377800,56 / 0,95 = 397684,80 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	650	900	1500	1000

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 2800 осіб;

C_0 – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 6980,00 грн;

$\pm \Delta C_0$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 710,10 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [16]:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (4.21)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2023 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo $\rho = 37\%$;

\mathcal{G} – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році $\mathcal{G} = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (710,10 \cdot 2800,00 + 7690,10 \cdot 650) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1759441,28 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (710,10 \cdot 2800,00 + 7690,10 \cdot 1550) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3502324,01 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (710,10 \cdot 2800,00 + 7690,10 \cdot 3050) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 6407128,55 \text{ (грн.)}$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (710,10 \cdot 2800,00 + 7690,10 \cdot 4050) \cdot 0,83 \cdot 0,37 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 8343664,91 \text{ (грн.)}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.22)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,15$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 1759441,28/(1+0,15)^1 + 3502324,01/(1+0,15)^2 + 6407128,55/(1+0,15)^3 + \\ &+ 8343664,91/(1+0,15)^4 = 1529948,94 + 2648260,12 + 4212791,03 + 4770517,49 = \\ &= 13161517,58 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot ZB, \quad (5.23)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

ZB – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 397684,80 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot ZB = 2 \cdot 397684,80 = 795369,59 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.24)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 13161517,58 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 795369,59 грн.

$E_{abc} = III - PV = 13161517,58 - 795369,59 = 12366147,99$ грн.

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.25)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 12366147,99 грн;

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 795369,59 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 12366147,99 / 795369,59)^{1/4} = 1,02.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} :

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.26)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні $d = 0,1$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,12.

$\tau_{\min} = 0,1 + 0,12 = 0,22 < 1,02$ свiдчить про те, що внутрiшня економiчна дохiднiсть iнвестицiй E_g , якi можуть бути вкладенi потенцiйним iнвестором у впровадження та комерцiалiзацiю науково-технiчної розробки вища мiнiмальнi внутрiшньої дохiднiстi. Тобто iнвестувати в науково-дослiдну роботу за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимiрювань» доцiльно.

Перiод окупностi iнвестицiй $T_{ок}$ якi можуть бути вкладенi потенцiйним iнвестором у впровадження та комерцiалiзацiю науково-технiчної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.27)$$

де E_g – внутрiшня економiчна дохiднiсть вкладених iнвестицiй.

$$T_{ок} = 1 / 1,02 = 0,98 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х рокiв, що свiдчить про комерцiйну привабливiсть науково-технiчної розробки i може спонукати потенцiйного iнвестора профiнансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5 Висновки до роздiлу

Згiдно проведених дослiджень рiвень комерцiйного потенцiалу розробки за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимiрювань» становить 33,0 бала, що, свiдчить про комерцiйну важливiсть проведення даних дослiджень (рiвень комерцiйного потенцiалу розробки вище середнього).

При оцiнюваннi за технiчними параметрами, згiдно узагальненого коефiцiєнту якостi розробки, науково-технiчна розробка переважає iснуючi аналоги приблизно в 1,25 рази.

Також термін окупності становить 0,98 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі виконувалося розроблення і дослідження цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювань, який дає можливість вимірювати такі електричні параметри як напруга постійного та змінного струму, сила постійного струму, опір, а також перевіряти діоди та контролювати стан батареї.

Проведено компонування пристрою та визначено його габаритні розміри. Розраховано друковану плату мультиметра. Вона двостороння, другого класу точності, виконана з склотекстоліту марки СФ-2-35-1,5. Проведено розрахунки плати на вплив вібрації та тепла, а також розрахунок надійності мультиметра. Виконано аналіз електромагнітної сумісності елементів друкованої плати.

Проведене комп'ютерне моделювання показало дієздатності розроблюваного цифрового мультиметра з автоматичним вибором границь вимірювання шляхом імітації роботи частини схеми з вхідним сигналом.

В економічній частині роботи було розраховано науково-технічний рівень розробки, її економічну ефективність та комерційний потенціал, а також витрати, потрібно для її здійснення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Генератори електричних сигналів — Режим доступу до журн.: <http://www.twirpx.com/file/769611/>.
2. Щупляк Н. М. Основи електроніки та мікроелектроніки./ Н. М. Щупляк. Книга 2. – Дрогобич: 2012. – 217с.
3. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник.2-е вид – Київ: «Каравела», 2009р. 2
4. Руденко В.С., Ромашков В.Я., Трифонюк В.В. Промислова електроніка – Київ: Либідь, 1993р.
5. Будіщев М..С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка – Львів: Афіша, 2001р.
6. Цифрова схемотехніка електронних систем. Підручник / В.І., Бойко, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.В. Багрій, В.М. Співак, Т.О. Терещенко. 3-те вид. допов. і переробл.– К.: Вища школа, 2010. – 426 с. (гриф надано МОН України – протокол № 1.4/18-Г-414 від 14.02.2008 р.). ISBN 966-642-193-3.
7. Пащенко Е.І. Радіопередавальні пристрої. Принципи побудови і основи експлуатації радіопередавальних пристроїв: Навчальний посібник / Е.І. Пащенко, О.В. Андреев -Житомир: ЖВІРЕ, 2006. - 176 с.
8. Ткачук В.М. Радіопередавальні пристрої: Навчальний посібник / В.М. Ткачук, С.М. Цирульник, Т.А. Петренко. – Вінниця: ВТК, 2015. - 188 с.
9. Пащенко Е.І. Пристрої генерування та формування сигналів. Частина 1. Навчальний посібник – Житомир: ЖВІРЕ. 2000. – 144 с.
10. Ткачук Р. А. Основи технології радіоелектронних апаратів : навчальний посібник / Р. А. Ткачук, В. Г. Дозорський, Л. Є. Дедів, І. Ю. Дедів. - Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. - 336 с.

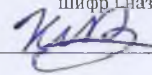
11. Лободзінська Р.Ф., Костюк О.А., Нікольський О.І., Шеремета О.П. Конструювання і технологія радіоелектронних засобів. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 91 с.
12. Елементна база радіоелектронної апаратури. Пасивні радіокомпоненти: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи» спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. В. О. Піддубний, І. О. Товкач. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 99 с..
13. Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
14. Панфілов І.П. Компонентна база радіоелектронної апаратури: навч. посіб.; модуль 2 / Панфілов І.П., Савицька М.П., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2013. – 192 с.
15. Новиков А. О. Основи теорії надійності та стандартизації виробів електронної техніки : навчальний посібник / А. О. Новиков, Шубін О. В. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 152 с.
16. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
17. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ЦИФРОВИЙ МУЛЬТИМЕТР
З АВТОМАТИЧНИМ ВИБОРОМ ГРАНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ

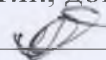
Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-22м
спеціальності 152 – Метрологія та інформа-
ційно-вимірювальна техніка

шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)



Конопко М.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., асистент каф. ІРТС



Семенова О.О.
(прізвище та ініціали)

« 15 » 12

2023 р.

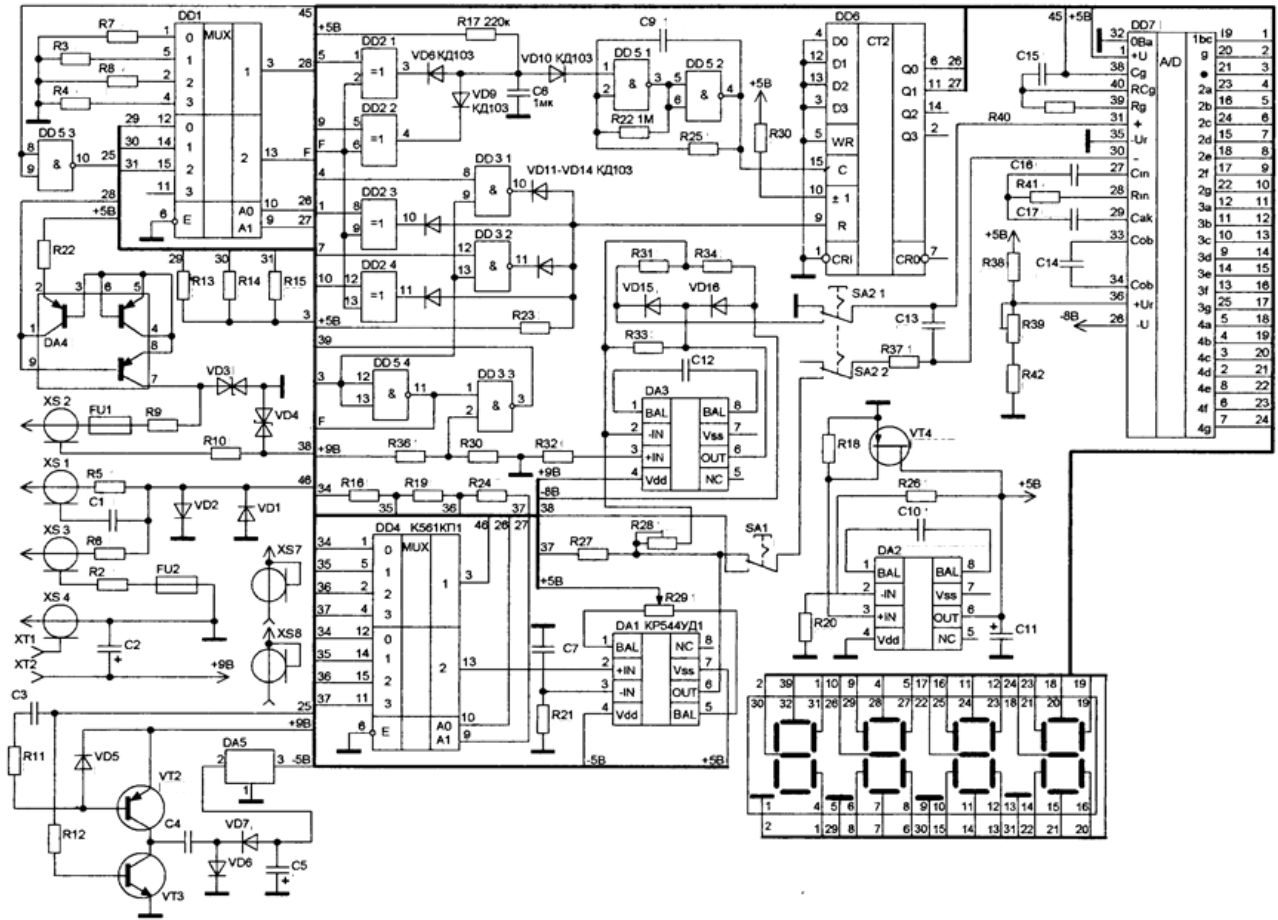


Рисунок 1 – Схема електрична принципова

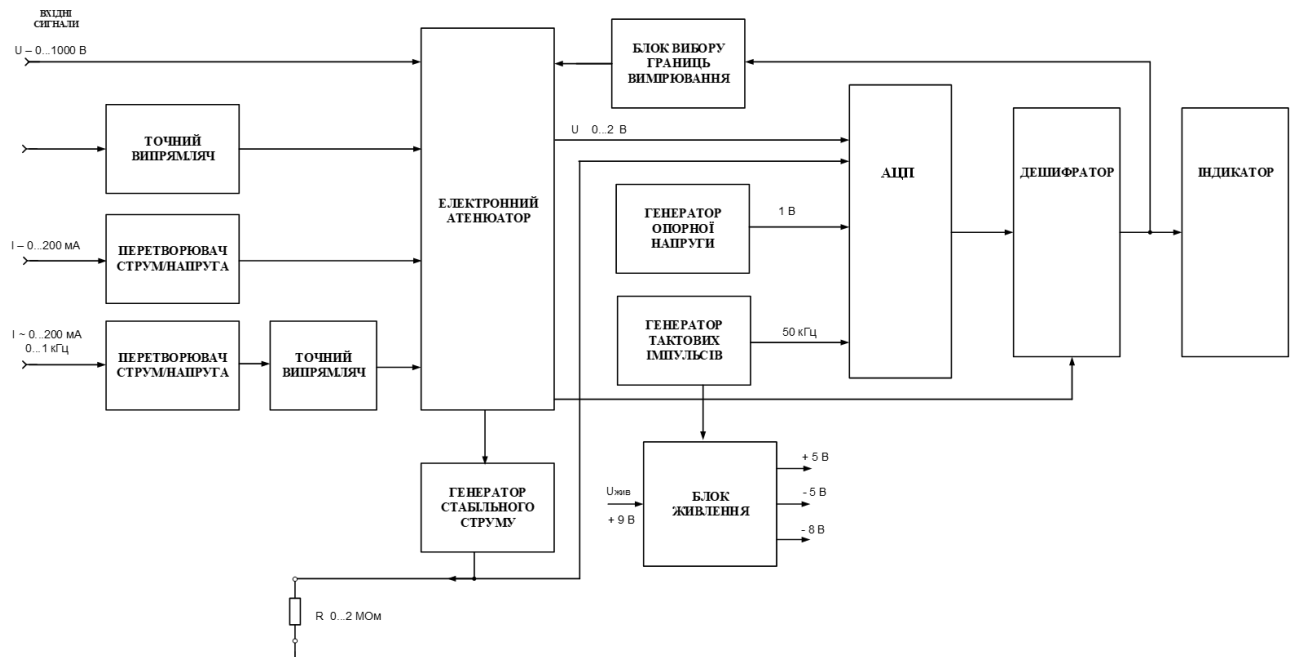


Рисунок 2 – Структурна схема

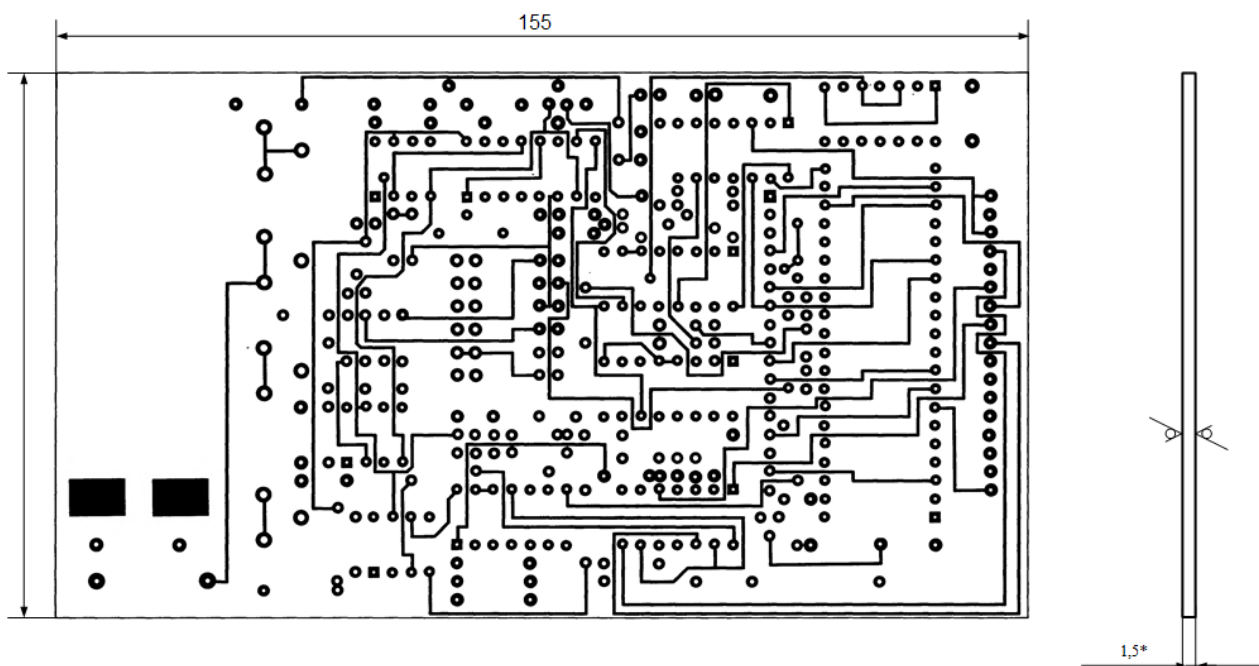


Рисунок 3 – Плата друкована

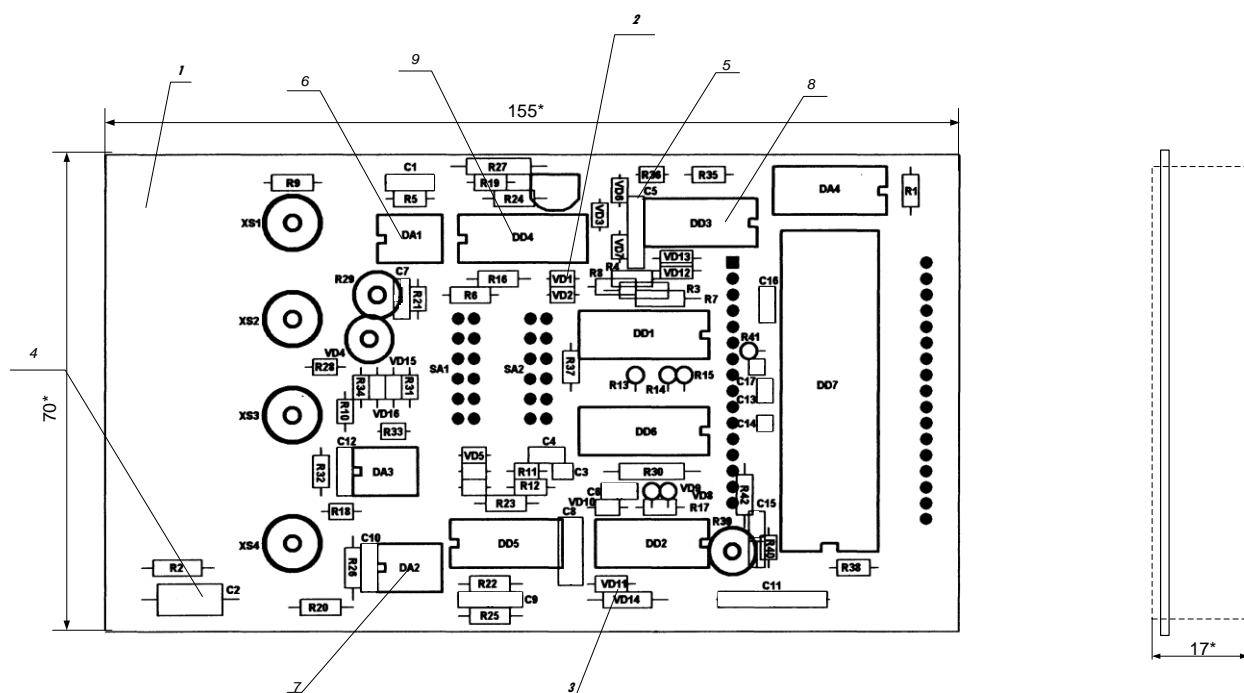


Рисунок 4 – Складальне креслення

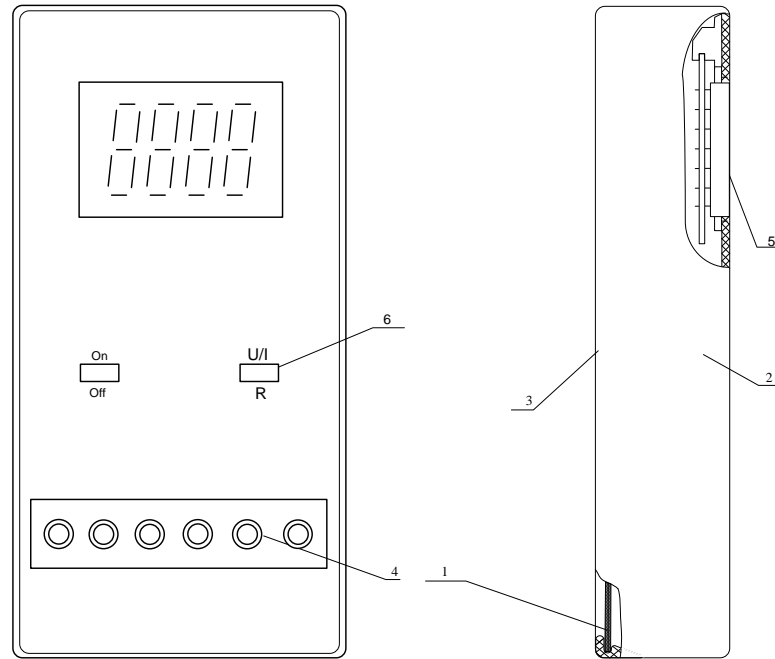


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд

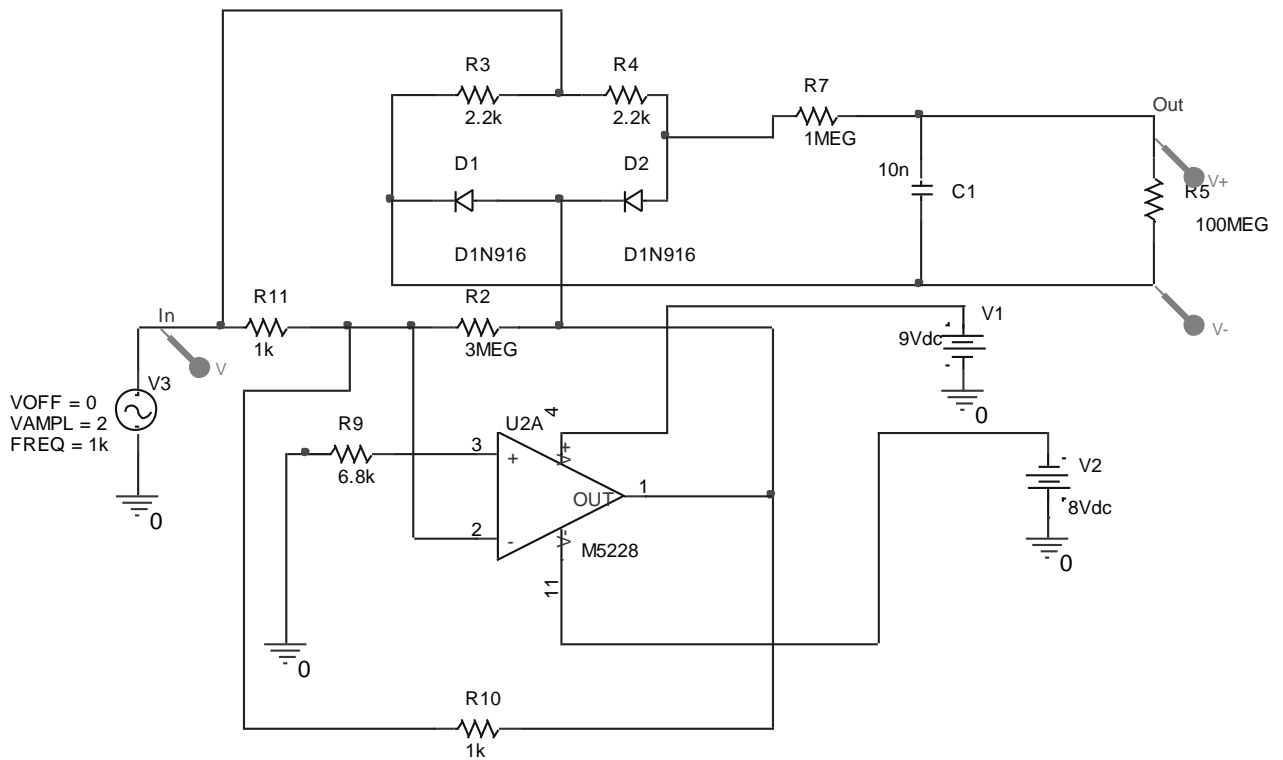


Рисунок 6 – Схема точкового випрямляча

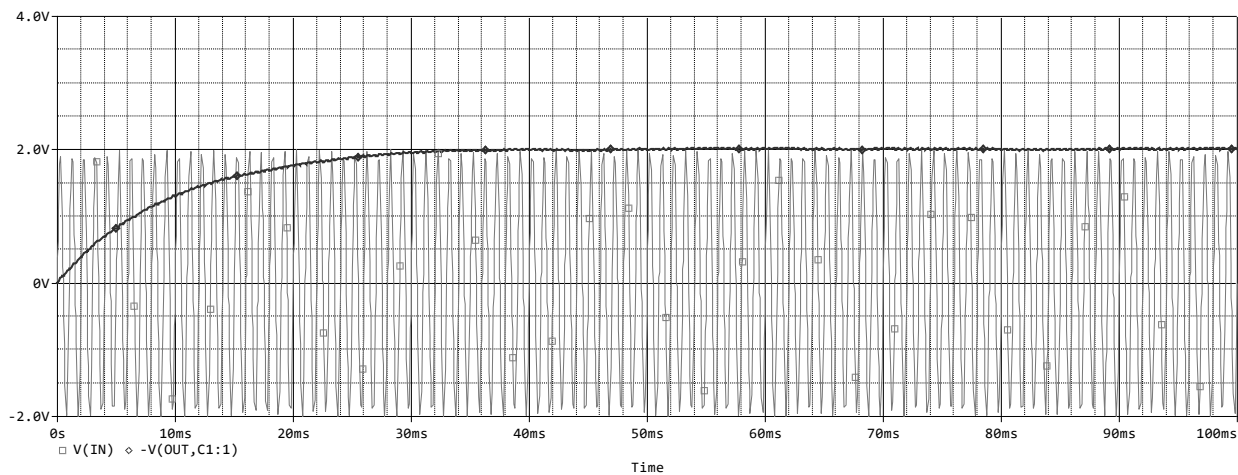


Рисунок 7 – Випрямлення вхідного сигналу

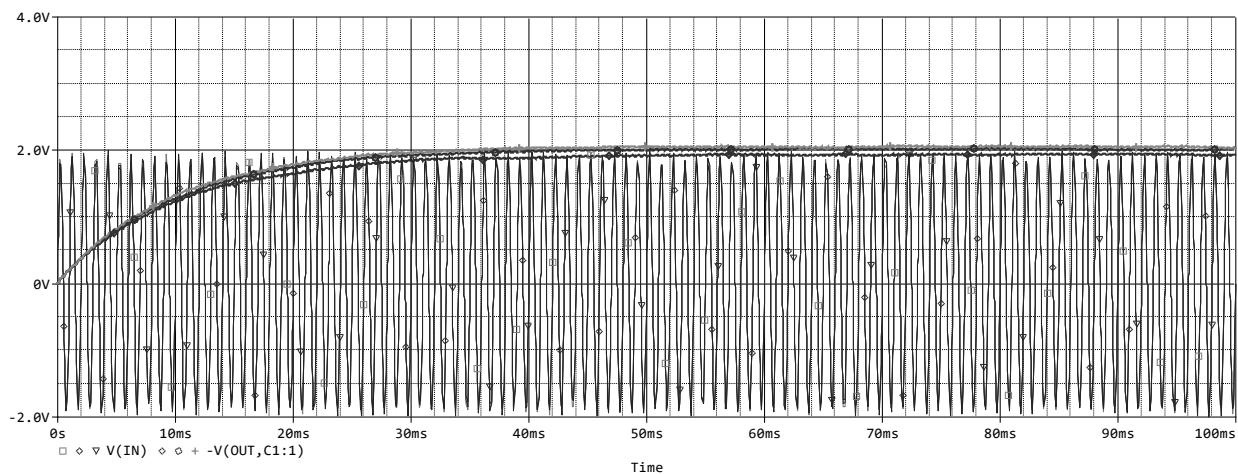


Рисунок 8 – Температурний аналіз

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
ЦИФРОВИЙ МУЛЬТИМЕТР
З АВТОМАТИЧНИМ ВИБОРОМ ГРАНИЦЬ ВИМІРЮВАНЬ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Цифровий мультиметр з автоматичним вибором границь вимірювань»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР. МКР)

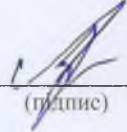
Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

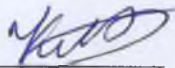
Оригінальність 89,2% Схожість 10,8%

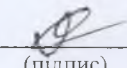
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Звягін О.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Конопко М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Семенова О.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)