

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:

«ПРИСТРІЙ КОРЕКЦІЇ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м з/в
спеціальності 172 – Телекомунікації
та радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мізін Г.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«06» 06 2024 р.

Опонент: д.т.н., доц. професор каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«06» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«15» березня 2024 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мізину Григорію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури»

керівник роботи д.т.н., проф., професор кафедри ІРТС Семенов А.О.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» 03.2024 р. №81.

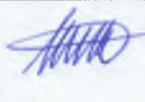
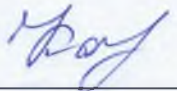
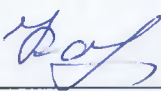
2. Строк подання студентом роботи 06.06.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: вхідна змінна напруга 220 В; максимальна потужність в навантаженні 700 Вт; вихідна постійна напруга 360 В; амплітуда пульсацій вихідної напруги не більше 3%; коефіцієнт потужності при максимальному навантаженні не менше 0,995; коефіцієнт корисної дії 96%; допустима паразитна ємність 1 пФ; допустима паразитна індуктивність 52 мкГн; розміри не більше 210×55×60 мм; маса не більше 0,25 кг.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Конструкторський розділ. Схемотехнічне моделювання роботи пристрою коректора коефіцієнта потужності. Економічна частина. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Струм і потужність, які споживаються джерелом живлення без корекції. Спрощена схема «перетворювача з підвищенням». Часові діаграми роботи коректора коефіцієнта потужності. Перший і другий варіант компонування конструкції корпусу. Спрощена схема моделювання пристрою коректора коефіцієнта потужності. Напруга після випрямного моста. Вхідна випрямлена напруга й імпульси стоку транзистора. Вихідна напруга схеми. Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,8мс при значенні напруги 23,5 В. Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,4мс при значенні напруги 204 В. Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,2мс при значенні.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	професор каф. ІРТС професор, д.т.н., Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	професор кафедри БЖДПБ, професор, д.п.н., Дембіцька С.В.		

7. Дата видачі завдання 14. 03.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження теми МКР	31.01.2024-28.02.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	01.03.2024-10.03.2024	
3.	Затвердження теми. Розробка завдання на МКР.	11.03.2024-10.04.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	11.04.2024-06.05.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	07.05.2024-11.05.2024	
6.	Розробка графічної частини МКР	12.05.2024-18.05.2024	
7.	Економічна частина	19.05.2024-22.05.2024	
8.	Охорона праці (ОП)	23.05.2024-26.05.2024	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	27.05.2024-31.05.2024	
10.	Нормоконтроль	01.06.2024-03.06.2024	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	04.06.2024-08.06.2024	
12.	Захист МКР ЕК	09.06.2024-11.06.2024	

Студент

(підпис)

Мізін Г.С.

Керівник роботи

(підпис)

Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Мізін Г.С. Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – телекомунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 132с. На українській мові. Бібліогр.: 37 назв; Табл. 14; Рис. 24 .

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури. Застосування такого пристрою вирішить задачу забезпечення корекції коефіцієнта потужності з вищим рівнем ніж відомі аналоги. Також розроблений пристрій забезпечить кращу стабільність вихідної імпульсної напруги і коефіцієнта корисної дії.

У роботі запропонована електрична схема пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури. Здійснений аналіз вимог до конструкції пристрою. Здійснено компонування пристрою та розроблена друкована плата. Отримані результати схемотехнічного моделювання пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури в пакеті програм OrCAD. Результати моделювання підтвердили, що пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури забезпечує на виході стабільну постійну напругу живлення 360 В при синусоїдальному споживанні напруги і струму від однофазної мережі побутового струму 220 В і 50 Гц.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини і розділу охорони праці та цивільної безпеки.

Ключові слова: електроживлення, радіоелектронний пристрій, напруга живлення, потужність, корекція, коефіцієнт корисної дії, пульсації напруги.

ABSTRACT

Mizin G.S. Device for correction of the power supply efficiency of radio-electronic equipment. Master's qualification work in the specialty 172 - Telecommunications and Radio Engineering, educational program - Radio Engineering: VNTU, 2024. 133 p. In Ukrainian. Bibliography: 37 titles; Table 14; Fig. 24.

In the master's qualification work, the development and research of a device for correcting the power supply efficiency of electronic equipment was carried out. The use of such a device will solve the problem of providing power factor correction with a higher level than known analogues. The developed device will also provide better stability of the output pulse voltage and efficiency.

The paper proposes an electrical circuit of a device for correcting the power factor of electronic equipment power supply. The requirements for the device design are analyzed. The device layout is carried out and a printed circuit board is developed. The results of circuit modeling of the device for correcting the power supply efficiency of electronic equipment in the OrCAD software package were obtained. The modeling results confirmed that the device for correcting the power supply efficiency of electronic equipment provides a stable constant supply voltage of 360 V at the output with sinusoidal voltage and current consumption from a single-phase household current network of 220 V and 50 Hz.

The master's thesis also includes calculations of the economic part, as well as the section on labor protection and life safety.

Keywords: power supply, electronic device, supply voltage, power, correction, efficiency, voltage fluctuations.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Аналіз вимог до конструкції приладу і особливості прийняття загального конструкторського рішення	10
1.2 Визначення, класифікація і принцип роботи пристрою коректора коефіцієнта потужності	12
1.3 Аналіз схеми електричної принципової.....	19
1.4 Аналіз елементної бази	20
1.5 Компонування пристрою	31
1.6 Розробка конструкції друкованої плати	44
1.7 Забезпечення теплового режиму пристрою коректора коефіцієнта потужності.....	55
1.8 Висновки до розділу.....	55
2 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ.....	56
2.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик	56
2.2 Розробка технології складання пристрою	60
2.3 Технологічний процес виготовлення друкованої плати	61
2.4 Технологія монтажу елементів на друкованій платі	62
2.5 Технологія складання пристрою	63
2.6 Висновки до розділу	64
3 СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ	65
3.1 Опис програмного пакету OrCAD, який використовувався для моделювання роботи пристрою	65
3.2 Результати моделювання	69
3.3 Висновки до розділу	72
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	73
4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки.....	78
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	80
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	93
4.5 Висновки до розділу.....	98

5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	99
5.1	Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	100
5.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	103
5.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	110
	ВИСНОВКИ.....	116
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	118
	Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	122
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	130

ВСТУП

Актуальність теми. В останні десятиліття кількість електроніки, що використовується в домашніх умовах, в офісах та виробництві, різко збільшилася, та в більшості пристроїв застосовують імпульсні джерела живлення. Такі джерела генерують гармонійні і нелінійні спотворення струму, які негативно впливають на проводку електромережі та електроприлади, які підключені до неї. Цей вплив виражається не тільки в різного роду перешкодах, які позначаються на роботі чутливих пристроїв, але і в перегріві нейтральної лінії. При протіканні струмів зі значними гармонійним складовими в навантаженнях, не співпадаючими по фазі з напругою, струм у нейтральному дроті (який при симетричному навантаженні, практично, дорівнює нулю) може збільшитися до критичного значення.

Одним із ефективних способів вирішення проблеми обмеження вмісту гармонік у вхідному струмі вторинних джерел живлення, електронних навантажень люмінесцентних ламп, приводів двигунів постійного струму та подібного обладнання є використання коректора коефіцієнта потужності PFC (Power Factor Correction). На практиці це означає, що майже все електронне обладнання з перетворювачами імпульсів повинно містити спеціальні схеми коректора коефіцієнта коректності у вхідному ланцюзі, щоб забезпечити зниження або повне придушення гармонік струму.

Струм, споживаний вторинним джерелом живлення з корекцією коефіцієнта потужності, має менші гармонійні спотворення, потужність, що споживається з мережі, є більш рівномірною, а його коефіцієнт амплітуди (відношення значення амплітуди струму до його середнього квадратичного значення) нижчий, ніж невиправленого джерела. Корекція коефіцієнта потужності зменшує середньоквадратичне значення споживаного струму, дозволяючи підключати більше різних пристроїв до одного виходу мережі, не створюючи струмового перевантаження в мережі.

Огляд сучасних вимог до пристроїв електроживлення РЕА. Надійність роботи радіоелектронної апаратури (РЕА) багато в чому

визначається надійністю джерел електричної енергії. Вихід з ладу хоча б одного джерела електричної енергії або відхилення його параметрів від припустимих, як правило, порушує роботу РЕА. Крім того, від джерел електричної енергії суттєво залежать габарити, маса та експлуатаційні характеристики РЕА. Тому при проектуванні РЕА значну увагу приділяють питанням проектування та розрахунку джерел електричної енергії.

Джерела електричної енергії (ДЕЕ) діляться на первинні та вторинні. До первинних відносять всі безпосередні перетворювачі різних видів енергії в електричну: електромашинні генератори, гальванічні та паливні елементи, сонячні батареї і т.і. До вторинних відносять перетворювачі електричної енергії одного виду до електричної енергії іншого виду.

Первинними джерелами електричної енергії для стаціонарної РЕА, як правило, є енергосистема (електромережа), а для переносної РЕА – різні елементи живлення.

Сучасна РЕА потребує електричної енергії як постійного, так і змінного струму. Однак більшість РЕА споживає електричну енергію постійного струму. Для отримання різних величин (номіналів) напруг постійного струму змінний струм перетворюється в основному випрямлячами з електричними вентилями. Різні напруги змінного струму отримують за допомогою трансформаторів.

Вимоги, що ставляться до вторинних джерел електричного живлення:

- широкий діапазон потужностей;
- якомога більший коефіцієнт корисної дії (ККД);
- малі пульсації спрямованої напруги;
- висока стабільність напруг в різних режимах роботи.

Метою роботи є розроблення схемотехнічної реалізації та конструювання пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури.

Задачами досліджень роботи є:

- отримати результати аналізу вимог до конструкції приладу і особливості прийняття загального конструкторського рішення;

- визначити принцип роботи пристрою коректора коефіцієнта потужності;
- здійснити аналіз елементної бази та запропонувати електричну схему пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури;
- виконати компоновання пристрою та розробити конструкцію друкованої плати;
- забезпечити вимоги електромагнітної сумісності та теплового режиму пристрою;
- отримати результати схемотехнічного моделювання пристрою в пакеті програм OrCAD;
- виконати розрахунки економічної частини та розділу охорони праці.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення енергії змінних у часі напруг і струмів у постійні в часі напруги та струму в каскадах пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури.

Предметом дослідження є параметри та характеристики пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури.

Новизна одержаних результатів:

1) нове схемне рішення та конструкція пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури;

2) зменшення габаритів та маси вторинного джерела електроживлення при одночасному підвищенні надійності та забезпеченні високих енергетичних та якісних показників;

3) нові результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури в пакеті програм OrCAD.

1 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз вимог до конструкції приладу і особливості прийняття загального конструкторського рішення

1.1.1 Загальні вимоги до конструкції РЕА

Конструкція РЕА - сукупність певним чином зв'язаних конструктивних і механічних елементів. До конструкції РЕА класифікація вимог проводиться по наступним ознакам: по призначенню, по надійності, по довговічності і зберігаємості, по безвідмовності, по ремонтпридатності, по безпеці, по ергономіці і естетиці, по технологічності.

Вимоги по призначенню встановлюють першочергову задачу, заради якої і ведеться розробка. Вони включають в себе: конструктивні рішення, значення параметрів, функціональне призначення, розміщення і фіксація на об'єкті (для бортових РЕА), кліматичне виконання, клас РЕА, захист від зовнішніх впливів.

Залежно від призначення надійність в конструкції і умов використання складається із сполучення безвідмовності, довговічності, зберігаємості, ремонтпридатності (ДСТУ 27002-83). Встановлені три групи надійності в залежності від наслідків відмов. Для відновлювальної РЕА, в залежності від функціонального призначення, довговічність поділяється на чотири класи [7]. Вимоги технологічності конструкції розглядаються в відповідності з ДСТУ 18831 - 73, ДСТУ 21623 - 76. Естетичні вимоги — з ДСТУ 23852- 79, вимоги виконання умов безпеки і виробничої санітарії — у відповідності з ДСТУ 121.005-76.

1.1.2 Розробка вимог до конструкції приладу і прийняття загальних конструктивних рішень

Вимоги до конструкції лабораторного обладнання встановлюються виходячи із загальних вимог до таких розробок та з урахуванням технічних завдань. Лише на основі цієї вимоги, у поєднанні з новими методами

будівництва та сучасними технологічними досягненнями ПЕА та діючими стандартами, можливо створити малі, ефективні та економічно вигідні ПЕА, виробництво та експлуатація яких вимагають обмежених витрат праці, енергії та матеріальні ресурси.

Виходячи із загальної класифікації та вимог технічного завдання, уточнюємо вимоги до обладнання. Функціональне призначення - Прилад стаціонарний і призначений для забезпечення імпульсних напруг і повного споживання вхідного струму і напруги.

Відповідно до вимог безвідказності, прилад відносений до третьої групи надійності (унаслідок відмови - втрата виробу або затрати на ремонт) [10]. По відновлюваності конструкція відноситься до 2-го класу: відновлювальні вироби, які після капітального ремонту мають розглядатися як нові, а на протязі строку експлуатації підлягають операціям технічного обслуговування і поточного ремонту. Режим функціонування — загальний, тобто періоди роботи чергуються випадковим чином.

Зберігаємість, як складова надійності, характеризується зберігаємістю при транспортуванні та збереженні. Зберігаємість забезпечується при виконанні вимог до консервації та пакування (ДСТУ 9.014-78) і підтримується правильним, регламентованим режимом зберігання. З метою виконання ремонтних робіт, повинна бути забезпечена єдиність варіантів складання. З'єднувачі мають мати механічну фіксацію, що не дозволяє виконувати комутацію з невідповідними частинами.

Для виконання вимог технологічності (ДСТУ 18.831-73) необхідно використовувати заходи по зниженню матеріалоємності, трудоємності і собівартості. Такими заходами є зменшення об'єму деталей (складальних одиниць), малономенклатурність, використання розроблених раніше і освоєних у виробництві деталей і складальних одиниць. Необхідно використовувати принципи стандартизації та уніфікації.

Вимоги безпеки та виробничої санітарії визначають безпеку виконання робіт (ДСТУ 11.1.005-76). При розробці конструкції приладу необхідно

враховувати відсутність шкідливих фізичних факторів впливу на людину, тобто температура і швидкість повітря в робочій зоні повинна бути в межах норми, відсутність підвищених рівнів шумів та вібрації і т.п.

Ергономічні вимоги (ДСТУ 16.035-81) містять два види: антропометричні та психофізичні. Для забезпечення перших з них необхідно, щоб розміри конструкції відповідали розмірам частин тіла в робочій зоні оператора. З урахуванням психофізіологічних вимог конструкція повинна зменшувати втомлюваність оператора з урахуванням його силових, зорових, слухових можливостей, швидкості реакції. Для цього необхідно, щоб блок розташовувався в районі 30° кута зору оператора на висоті 1240 ± 500 мм. Виходячи з естетичних вимог (ДСТУ 23,852-79) зовнішній вигляд конструкції має знаходитись в гармонійному взаємозв'язку, підлягати загальному задуму і вирішуватись в основному стилі.

1.2 Визначення, класифікація і принцип роботи пристрою коректора коефіцієнта потужності

1.2.1 Загальні визначення

Фактором або коефіцієнтом потужності називається відношення активної потужності (потужності, яка споживається блоком живлення безповоротно) до повної, тобто до векторної суми активної та реактивної потужностей [9]. По суті коефіцієнт потужності є відношення корисної і отриманої потужностей. Цей параметр характеризує спотворення, створювані навантаженням (вторинним джерелом живлення) в мережі змінного струму. Існує два типи спотворень: гармонічні спотворення та нелінійні спотворення. Гармонічні спотворення викликані реактивним навантаженням і представляють зсув фаз між струмом і напругою. «Нелінійні» навантаження вносять нелінійні спотворення в мережу. Ці спотворення проявляються як відхилення форми сигналу струму або напруги від синусоїдальних кривих. У випадку гармонічних спотворень коефіцієнтом потужності вважається косинус різниці фаз між струмом і напругою або відношення активної потужності до повної потужності,

споживаної з мережі. Для нелінійних спотворень коефіцієнт потужності дорівнює частці потужності першої гармонічної складової струму в загальній потужності, споживаної пристроєм. Його можна розглядати як індикатор того, наскільки рівномірно пристрій споживає електроенергію з мережі. [9]

Оскільки сучасні системи вторинного електроживлення - це імпульсні пристрої, вони значною мірою спотворюють гармонійний склад споживаного струму. Для покращення гармонійного складу і служить коректор коефіцієнта потужності (ККП), і практично будь-яка система вторинного електроживлення його містить. ККП може бути виконаний у вигляді окремого пристрою, а може поєднуватись з випрямлячів. Коефіцієнт потужності виражається десятковим числом і має значення від 0 до 1, причому його ідеальне значення становить 1 (для порівняння, типовий імпульсний блок живлення має нескоригований коефіцієнт потужності приблизно 0,95). — Задовільно 0,8 Незадовільно. Застосування корекції коефіцієнта потужності може покращити коефіцієнт потужності пристрою з 0,65 до 0,95. Значення в діапазоні 0,97 ... 0,99 цілком реальні. В ідеальному випадку, коли коефіцієнт потужності дорівнює 1, пристрій споживає з мережі синусоїдальний струм, який має нульовий зсув фази по напрузі (відповідає повністю активному навантаженню з лінійною вольт-амперною характеристикою).

Коректори коефіцієнта потужності бувають:

- Активні
- Пасивні

Типовий імпульсний джерело живлення складається з випрямляча, згладжуючого конденсатора та перетворювача напруги. Цей блок живлення споживає електроенергію тільки в той момент, коли напруга, що подається випрямлячем на згладжуючий конденсатор, вище напруги на ньому (конденсаторі), що відбувається приблизно на чверті циклу. В інший час блок живлення не споживає електроенергію з мережі, оскільки навантаження живиться від конденсатора. Це призводить до споживаної потужності

навантаження лише на піках напруги, при цьому споживаний струм має форму коротких імпульсів і містить набір гармонійних складових (рис. 1.1).

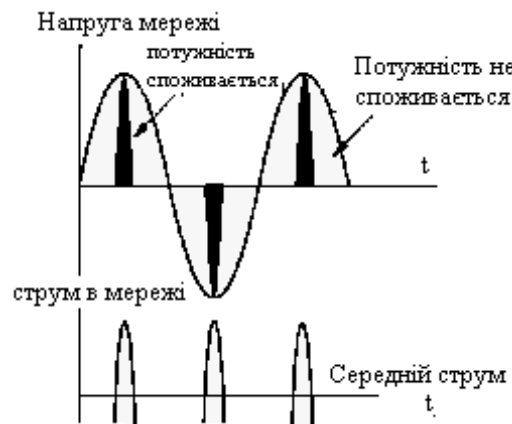


Рисунок 1.1 – Струм і потужність, які споживаються джерелом живлення без корекції

Струм, споживаний вторинним джерелом живлення з корекцією коефіцієнта потужності, має низькі гармонійні спотворення, потужність, що споживається з мережі, більш рівномірна, а коефіцієнт амплітуди (відношення значення амплітуди струму до його середнього квадратичного значення) нижчий, ніж вторинного джерела живлення. Невиправлене джерело. [4] Корекція коефіцієнта потужності зменшує середньоквадратичне значення споживаного струму, дозволяючи підключати більше різноманітних пристроїв до однієї розетки в мережі, не створюючи струмового перевантаження (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Струм і потужність, які споживаються джерелом живлення з корекцією

Активна потужність - це періодичне середнє значень потужності, розподілених на активні навантаження. Фізично це енергія, що виділяється активним резистором у вигляді тепла за одиницю часу. Реактивна потужність - це енергія, яка двічі перекачується від генератора до навантаження і двічі від навантаження до генератора. Загальна потужність є добутком робочої напруги та повного робочого струму.

1.2.2 Пасивна корекція коефіцієнта потужності

Пасивні методи корекції найчастіше застосовуються в недорогих малопотужних пристроях (де немає жорстких вимог до сили нижніх гармонік струму). Пасивна корекція дозволяє досягти значення коефіцієнта потужності приблизно 0,9. Це зручно, коли блок живлення вже спроектований і залишається тільки створити відповідний фільтр і включити його у вхідний ланцюг.

Пасивна корекція коефіцієнта потужності полягає у фільтрації споживаного струму за допомогою стрічкового LC-фільтра. Цей підхід має кілька обмежень. LC-фільтр може ефективно діяти як коректор коефіцієнта потужності лише тоді, коли напруга, частота та навантаження змінюються у вузькому діапазоні значень. Оскільки фільтр повинен працювати в діапазоні низьких частот (50/60 Гц), його компоненти мають великі розміри, масу і низьку добротність (що не завжди прийнятно). По-перше, кількість компонентів у пасивному методі значно менша, а отже, час роботи у разі відмови більший, а по-друге, пасивна корекція створює менше електромагнітних і контактних перешкод, ніж активна.

1.2.3 Активна корекція коефіцієнта потужності

Активний PFC це, по суті, ще один перетворювач, що вбудовується між випрямлячем та конденсатором. Звичайно, це підвищуючий перетворювач (StepUp) і він стабілізує напругу на випрямному конденсаторі на рівні, трохи більше, ніж максимальна напруга в вхідній мережі, зазвичай це 400V.

Відмінність активного PFC від простого перетворювача в тому, що він живиться від незгладженої напруги і обмежує свій струм з джерела так, щоб він відповідав бажаному, наближав форму струму до виду резистивного навантаження.

У активного PFC усі властивості доброго пасивного PFC без його недоліків. До достоїнств PFC в цілому треба віднести:

- гарну фільтрацію перешкод з мережі 220V, особливо в пасивних PFC;
- ємність конденсатора вхідного випрямляча можна зменшити в 2 рази - із-за накопичення енергії у схемі PFC вимоги до ємності конденсатора пом'якшуються. Для випадку пасивного PFC цей конденсатор не можна зменшувати - стартовий кидок напруги збільшиться ще більше;
- значно більший робочий діапазон вхідної напруги для активного PFC. Справа в тому, що за заниженою вхідною напругою активний PFC буде намагатися стабілізувати напругу на випрямному конденсаторі.

Активний коректор коефіцієнта потужності має задовольняти таким трьом умовам:

- 1) Форма споживаного струму має бути якомога ближче до синусоїдальної і - «у фазі» з напругою. Миттєве значення струму, споживаного від джерела, повинно бути пропорційно миттєвій напрузі мережі.
- 2) споживана від джерела потужність повинна залишатися постійною навіть у випадку зміни напруги мережі. Тобто, струм навантаження повинен бути збільшений при зниженні напруги мережі, і навпаки.
- 3) Вихідна напруга коректора PFC не повинна залежати від навантаження. Коли напруга на навантаженні зменшується, струм через навантаження повинен збільшуватися, і навпаки.

Існує кілька доступних схем досягнення активної корекції коефіцієнта потужності [9]. Найпопулярнішим наразі є «підвищувальний перетворювач». Це рішення відповідає всім вимогам сучасних джерел живлення. Перш за все, це дозволяє працювати в мережах з різними значеннями напруги живлення (від 85 до 270 В) без обмежень і будь-яких додаткових налаштувань. По-друге, він

менш сприйнятливий до відхилень електричних параметрів мережі (скачки напруги або короткочасні відключення). Ще одна перевага цього рішення полягає в тому, що захист від перенапруг простіше впровадити. Спрощена схема «підвищувального перетворювача» показана на рисунку 1.3.

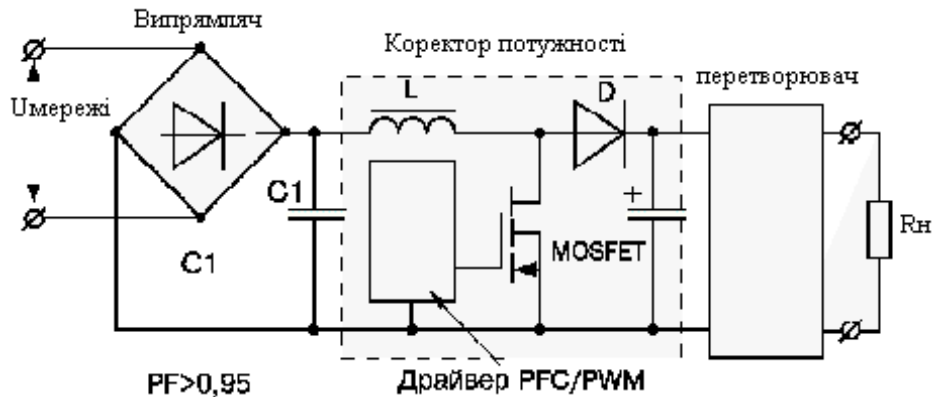


Рисунок 1.3 – Спрощена схема «перетворювача з підвищенням»

Працює пристрій наступним чином. Стандартним коректором коефіцієнта потужності є АЦП з широтно-імпульсною (ШИМ) модуляцією. Модулятор керує потужним (зазвичай MOSFET) ключем, який перетворює постійну або випрямлену напругу живлення в серію імпульсів, які після випрямлення призводять до постійної напруги на виході.

Часова діаграма роботи коректора наведена на рисунку 1.4. При включенні MOSFET струм в дроселі зростає лінійно - при цьому діод відключає його і конденсатор C2 розряджається в навантаження. Потім, коли транзистор закривається, напруга на дроселі «вмикає» діод, і накопичена в дроселі енергія заряджає конденсатор C2 (під час живлення навантаження). У наведеній схемі (порівняно з некоригованим джерелом) конденсатор C1 має меншу ємність і використовується для фільтрації високочастотних перешкод. Частота перетворення 50 ... 100 кГц. У простому випадку ця схема працює з постійним шпаруватістю. Існує кілька способів покращити ефективність корекції шляхом динамічної зміни робочого циклу для узгодження періоду з напругою обвідної випрямляча джерела живлення.

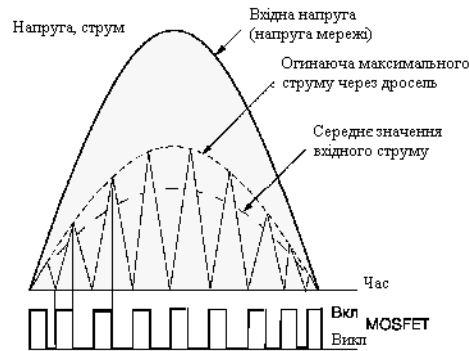


Рисунок 1.4 – Часові діаграми роботи коректора коефіцієнта потужності

Схема «підвищувального перетворювача» може працювати в трьох режимах: безперервному, дискретному і так званому «режимі критичної провідності». У дискретному режимі під час кожного циклу струм дроселя встигає «впасти» до нуля і через деякий час знову починає зростати, тоді як у безперервному режимі струм знову починає зростати, не досягаючи нуля. Режим критичної провідності використовується рідше, ніж перші два режими. Його складніше реалізувати. Це означає, що MOSFET вмикається в той момент, коли струм дроселя досягає нуля. Працюючи в цьому режимі, регулювання вихідної напруги стає простою.

Вибір режиму залежить від необхідної вихідної потужності джерела живлення. У пристроях потужністю більше 400 Вт використовується безперервний режим, а в пристроях малої потужності - дискретний. Активна корекція коефіцієнта потужності може досягати значень 0,97 ... 0,99, THD (Total Harmonic Distortion) коефіцієнти нелінійних спотворень в діапазоні 0,04 ... 0,08.

1.2.4 Переваги використання ККП

Перша перевага полягає в тому, що забезпечити високу енергоємність блоку живлення з ККП набагато легше, ніж традиційного. Енергоємність - це міра здатності блоку живлення віддавати протягом деякого часу потужність в навантаження, не "просаджуючи" мережу і не сильно знижуючи вихідну напругу.

Друга перевага - блок живлення з ККП за принципом дії стабілізує вихідну напругу. Тому вихідна потужність перестає жорстко залежати від напруги мережі - навіть при "просівшій" мережі надається повна потужність.

1.3 Аналіз схеми електричної принципової

Схема коректора коефіцієнта потужності (ККП) побудована на основі спеціалізованої мікросхеми - контролера IR1150S. Терморезистор RK1 обмежує імпульс струму при включенні, двообмотковий дросель L1 спільно з конденсаторами C1, C4-C6 утворюють протизавадний фільтр. Мережева напруга випрямляється діодним мостом VD4, резистори R4-R14 утворюють датчик струму, діоди VD1, VD2 обмежують напругу на цих резисторах. Накопичення енергії здійснюється в магнітопроводі трансформатора T1 при відкриванні транзистора VT1. При закритті цього транзистора накопичена енергія передається в навантаження.

Після подачі напруги мережі відбувається зарядка конденсаторів C15, C18 через діодний міст VD4 і діод VD7, це полегшує запуск ККП. Через резистори R19, R23-R25 відбувається зарядка конденсаторів C16, C17, а потім через резистор R20 - конденсаторів C8, C10, і напруга надходить на лінію живлення контролера DA1, який у цей момент перебуває в режимі мікроспоживання струму. По досягненні напругою живлення 12,7 В відбувається включення контролера DA1 і всього пристрою. На затвор транзистора VT1 надходять відкриваючі імпульси напруги, і через нього і первинну обмотку трансформатора T1 протікають імпульси лінійно наростаючого струму, тривалістю яких управляє контролер DA1. При закриванні транзистора VT1 на його стоці виникає імпульсна напруга, яка випрямляється діодом VD10.

Живлення контролера DA1 спочатку здійснюється енергією, накопиченою конденсаторами C10, C16, C17, а потім - від вторинної обмотки трансформатора T1. Випрямляч для живлення контролера DA1 зібраний за схемою подвоєння напруги на діодах VD6, VD8. Вихідна напруга ККП через резистивний подільник R26, R29-R32 надходить на вхід підсилювача сигналу помилки

контролера DA1, де порівнюється зі зразковою напругою, що дорівнює 7 В. Вихідний сигнал підсилювача інтегрується ланцюгом C3R15C9 і підсумовується з посиленням сигналом з резистивного датчика струму R4-R14. Результуючий сигнал використовується для формування імпульсів управління транзистором VT1. Частота перемикання обрана рівною 100 кГц і визначається опором резистора R1.

На вхід OVP (вивід 4) контролера DA1 через дільник R21R22R27R28R33 надходить вихідна напруга ККП, і якщо напруга на цьому вході перевищить 1,07 В, керуючі імпульси на затвор транзистора VT1 не надходять. Так здійснюється захист від перевищення напруги на виході ККП. Діоди VD1, VD2 і ланцюг R3C2 захищають вхід ISNS контролера DA1 від стрибків напруги при включенні ККП і при перевантаженнях.

1.4 Аналіз елементної бази

Так як пристрій складається з великої кількості радіодеталей, то спочатку необхідно вибрати їх тип. Тому, виходячи з аналізу блоків, ми вибираємо найпоширеніші елементи - по можливості вітчизняні елементи, експлуатаційні дані яких можна знайти в каталозі.

Аналіз буде проведено на основі переліку елементів (наведеного в додатку). Під час розбору розрахуємо площу кріплення радіодеталей.

Площа кріплення компонентів, розташованих на друкованій платі, розраховується наступним чином.

Якщо компонент має круглий поперечний переріз (для конденсаторів, транзисторів, вертикально встановлених резисторів тощо), то використовуйте наступну формулу для обчислення площі

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1.1)$$

де d – це діаметр компонента.

Якщо елемент розміщений горизонтально на платі (це стосується усіх радіокомпонентів з прямокутними корпусами), тоді установочна площа

$$S = a \cdot b, \quad (1.2)$$

де a , b – відповідно ширина і довжина установки.

Розпочнемо аналіз елементної бази із пасивних компонентів.

Конденсатори таких видів: постійної ємності типів К10-47В, К73-17, керамічні чіп-конденсатори типорозміру 0805, танталові чіп-конденсатори; електролітичні К50-35 з робочою напругою 400В. Розміри конденсаторів залежать від їх номінальної ємності та робочої напруги. Рисунки конденсаторів наведені нижче.

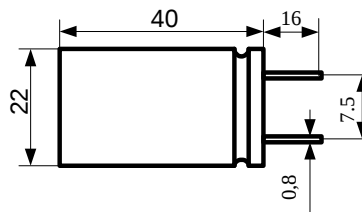


Рисунок 1.5 – Електролітичні конденсатори К50–35 (С15,С18).

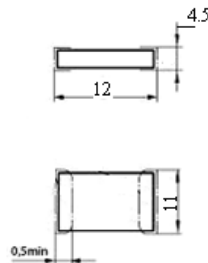
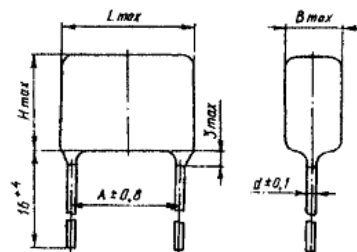
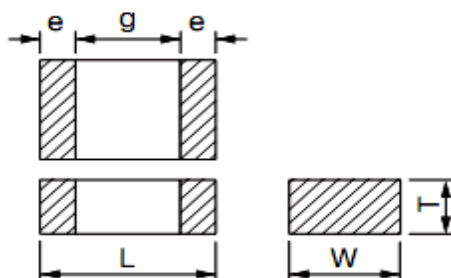


Рисунок 1.6 – Конденсатори К10-47в (С1,С6,С7,С19,С20)



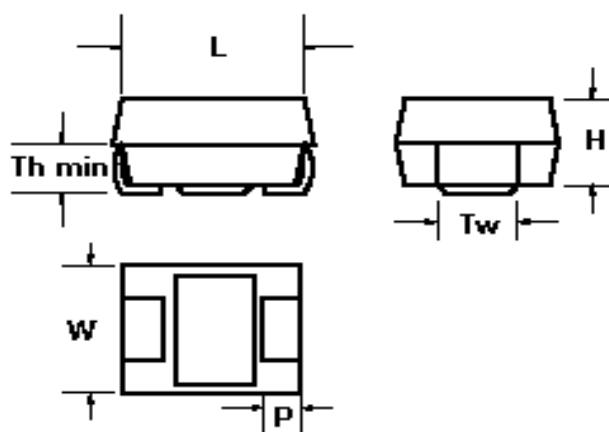
Номінальна напруга,В	Номінальна ємність, мкФ	Розміри, мм					Маса, г
		Lmax	Bmax	Hmax	A	d	
630	0,022	12	7	15	10	0,8	2,5

Рисунок 1.7 – Конденсатори К73-17 (С4,С5)



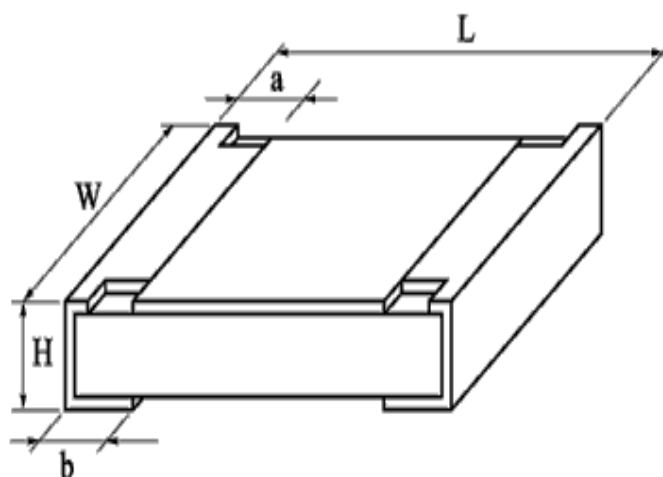
Типорозмір	Розміри, мм				
	L	W	Tmax	e	g
0805	2	1.25	1.25	0.7	0.7

Рисунок 1.8 – Конденсатори керамічні типорозміру 0805 (C2,3,8,9,11-14)



Розміри, мм					
L	W	H	P	Tw	Th min
7.3	4.3	1.8	1.3	1.4	1

Рисунок 1.9 – Танталові чіп-конденсатори (C10,16,17)



Типорозмір	Розміри, мм				
	L	W	H	a	b
0805	2	1.25	0.6	0.4	0.4
1206	3,2	1,6	0,6	0,5	0,5

Рисунок 1.10 – Чіп-резистори P1-12: типорозмір 0805 (R1-3,15-33)
типорозмір 1206 (R4-14)

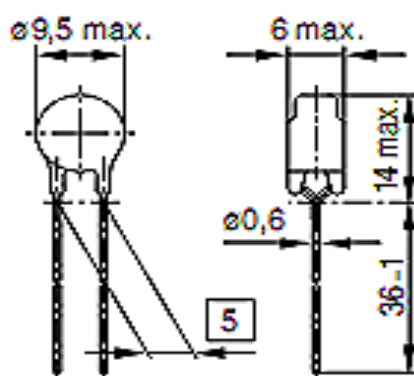


Рисунок 1.11 – Терморезистор B57235S509M

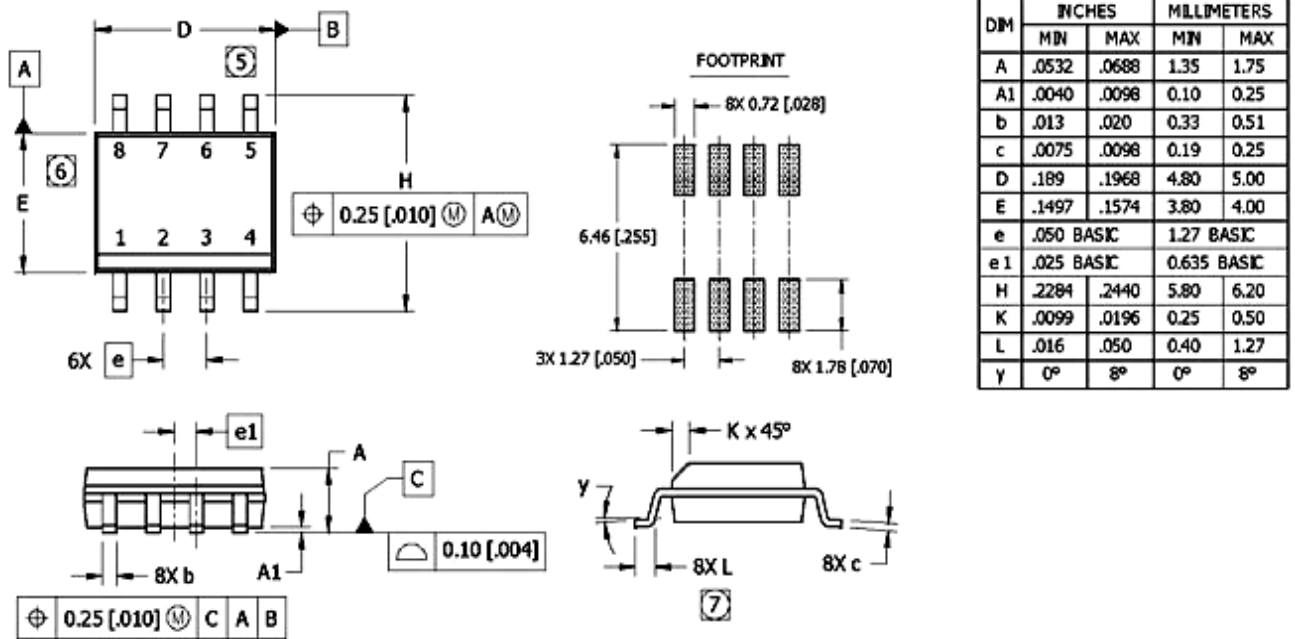


Рисунок 1.12 – Мікросхема IR1150S

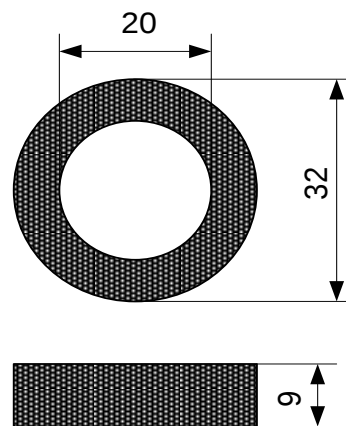


Рисунок 1.13 – Котушка індуктивності магнітопровід M2000NM типорозмір К32*20*9 (40 витків вдвічі складеного проводу ПЕВ-2 0,5)

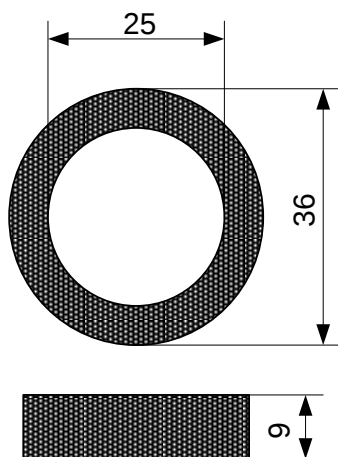


Рисунок 1.14 – Трансформатор: магнітопровід МП140 типорозмір К36*25*9
(первинна обмотка 110 витків ПЕВ-2 0.9, вторинна – 6 витків МГТФ 0.2)

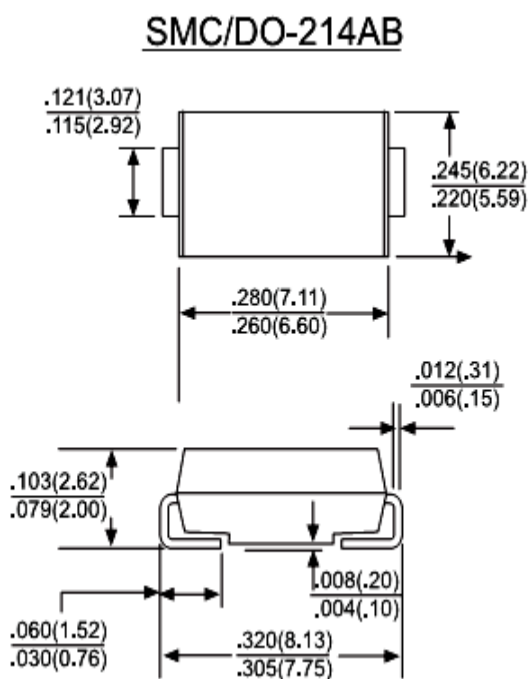


Рисунок 1.15 – Випрямляч S3D (VD1,2), S3J (VD7)

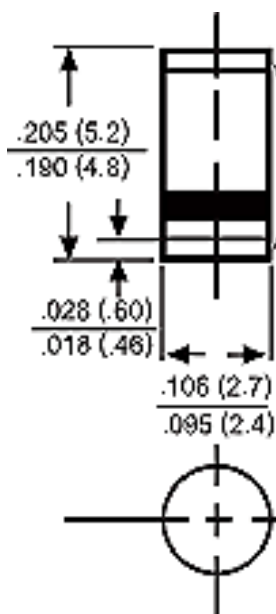


Рисунок 1.16 – Бар’єрний випрямляч Шоткі SM5819 (VD3,6,8)

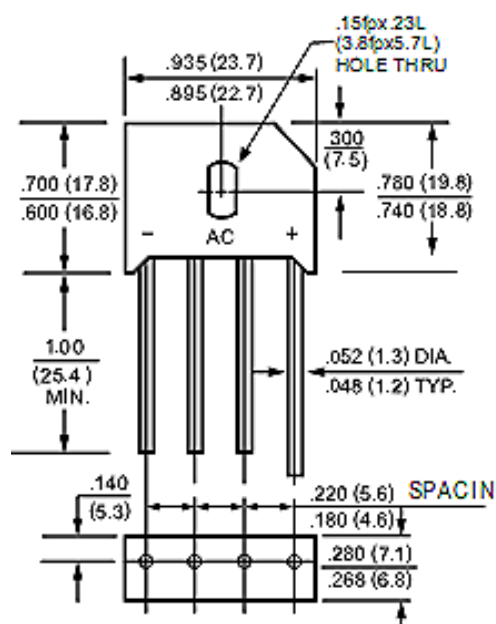


Рисунок 1.17 – Однофазний кремнієвий мостовий випрямляч KBU6M (VD4)

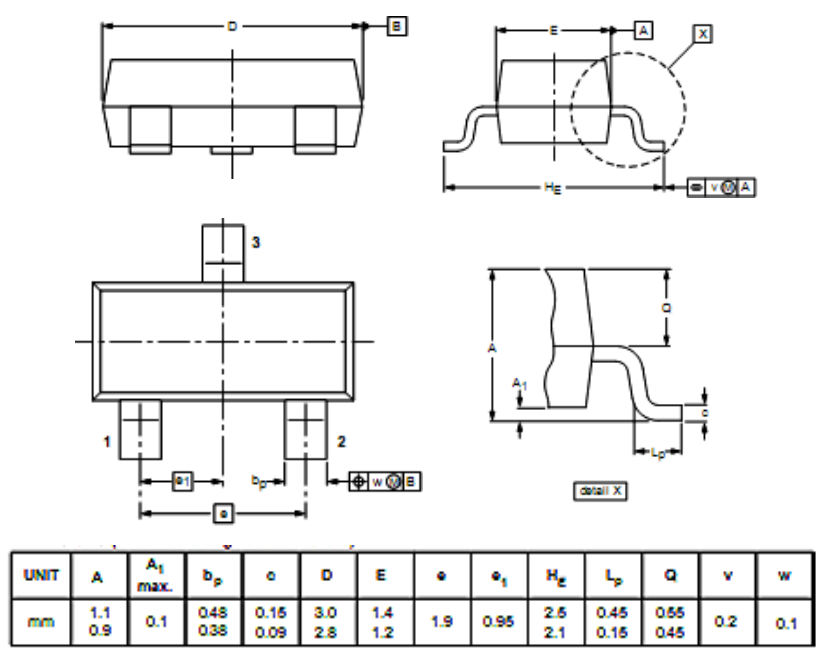


Рисунок 1.18 – Високошвидкісний подвійний діод BAV70 (VD5)

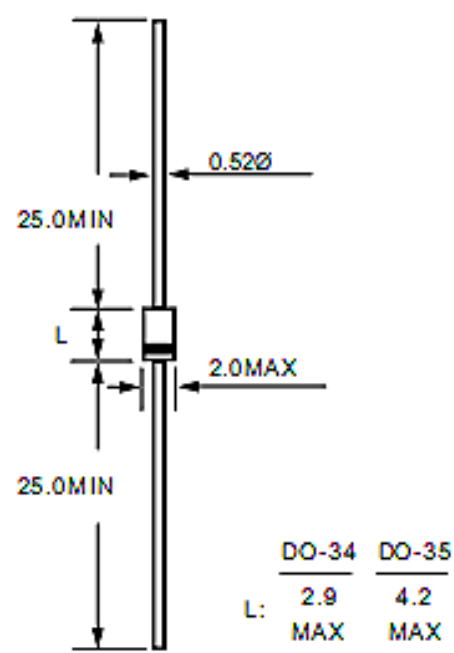


Рисунок 1.19 – Склокерамічний стабілітрон BZX55C18V (VD9)

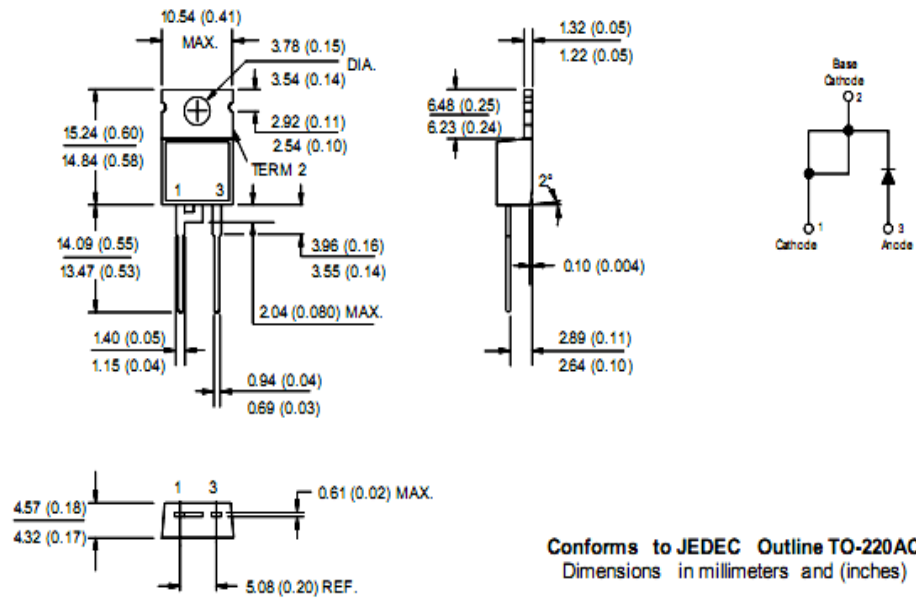


Рисунок 1.20 – Гіпершвидкий випрямляч 8ETN06 (VD10)

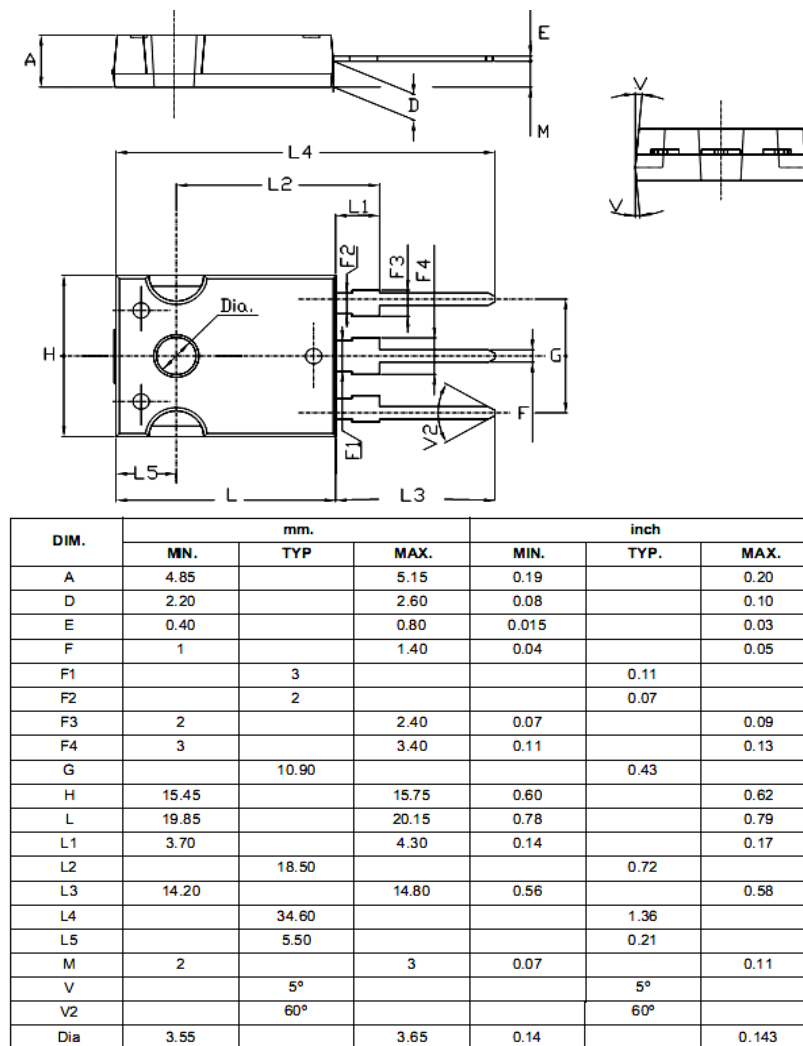


Рисунок 1.21 – N-канальний МОН-транзистор з польовим ефектом IRFP450 (VT1)

Нижче представлена таблиця 1.1, в якій вказані характеристики елементів.

Таблиця 1.1 – Характеристика елементної бази

Найменування	Кількість, шт..	Установча площа, мм ²	Маса, г	Температура, °С	Вібрація, Гц	Лінійне прискорення	Ударне перевантаження
Конденсатори							
Керамічні 0805 100 пФ	2	2,5	0,15	85	1..5000	7.5	20
Керамічні 0805 0,047 мкФ	1	2,5	0,15	85	1..5000	7.5	20
Керамічні 0805 0,47 мкФ	3	2,5	0,15	85	1..5000	7,5	20
Керамічні 0805 1 мкФ	2	2,5	0,15	85	1..5000	7,5	20
Танталові чіп 25В-47мкФ	3	28	1	85	1..5000	7,5	20
К10-47В-Н30-500В-0,022мкФ	2	132	1,1	125	1..5000	7,5	20
К10-47В-500В-0,047 мкФ	3	132	1,1	125	1..5000	7,5	20
К50-35-400В-100мкФ	2	64	1,2	85	1..600	30	90
Резистори							
Товсто-плівкові (1206) 1,8 Ом	11	5,12	0,1	85	10..2000	10	30
B57235S509 М 5 Ом	1	57	0.8	25	10..2000	10	30

Продовження таблиці 1.1 – Характеристика елементної бази

P1-12 (0805) 5.1 Ом	1	2,5	0.1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 10 Ом	3	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 100 Ом	2	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 1 кОм	1	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 4,7 кОм	1	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 6,8 кОм	1	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 10 кОм	1	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 82 кОм	2	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 100 кОм	9	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
P1-12 (0805) 220 кОм	1	2,5	0,1	85	10..200 0	10	30
Індуктивні елементи							
Котушка індуктивності	1	907	12				
Трансформатор	1	396	10				
Мікросхема							
IR1150S	1	20	2	70			

Продовження таблиці 1.1 – Характеристика елементної бази

Діоди, стабілітрони							
S3D	2	42	0.21	150			
S3J	1	42	0.21	150			
SM5819	3	11.5	0.12	150			
KBU6M	1	161	4.8	150			
BAV70	1	4.2	0.18	150			
BZX55C18V	1	8.4	0.13	175			
8ETH06	1	47.25	2	175			
Транзистор							
IRFP450	1	81.11	4	150			
Елемент тепловідводу							
Алюмінієва пластина	1	600	90				

Отже, було розглянуто і проаналізовано елементну базу, складено табличку характеристик, в якій наведено значення установочних площ, максимальні робочі температури елементів та їх маса.

1.5 Компонування пристрою

1.5.1 Задача компоновки

Компоновка - РЕЗ розміщення різних елементів у просторі або площині - одне з важливих завдань під час будівництва.

Основними завданнями, які вирішуються при компоновці, є вибір форм, основних габаритних розмірів, орієнтовний вибір мас і розміщення будь-яких елементів обладнання в просторі. Попередні ескізи макетів виконуються без

масштабу, мають ознаки креслення і вимагають менше часу на виконання, ніж креслення.

Конструктивні ескізи виконуються з використанням геометричних розмірів, форм і мас радіодеталей, які необхідно розмістити в просторі з урахуванням електричних, магнітних, механічних, теплових та інших видів зв'язку.

Маючи в руках схему та ескіз компоновання, можна оцінити ймовірну природу та розмір паразитних з'єднань, розрахувати теплові умови та виконати розрахунки надійності.

Результатом компоновальних робіт на стадії ескізного проектування буде складання загальної компоновальної схеми виробу з розбиттям її на окремі функціональні блоки, компоновання робочого місця оператора, розміщення пристрою на об'єкті.

Під час написання виконується кілька варіантів і вибирається найкращий варіант на основі кількох критеріїв.

1.5.2 Розробка різних варіантів конструкцій

У даній конструкторській розробці на основі розрахунку коефіцієнта технологічності обрано найкращий з двох варіантів. Виходячи з того, що на корпусі розміщені тільки роз'єми і в конструкції немає складних частин, ми вибираємо форму корпусу у вигляді кубоподібної форми. Розглянемо два варіанти оформлення.

В *першому варіанті* (рис. 1.22) плату розміщено у пластмасовому корпусі, в якому передбачено вирізи під роз'єми, кріплення та вентиляцію. Плата знаходиться в горизонтальному положенні і кріпиться до основи корпусу за допомогою кріпильних гвинтів. В такому випадку корпус має прямокутну форму. Ця конструкція проста і легка в обслуговуванні, кришка прикручується до корпусу.

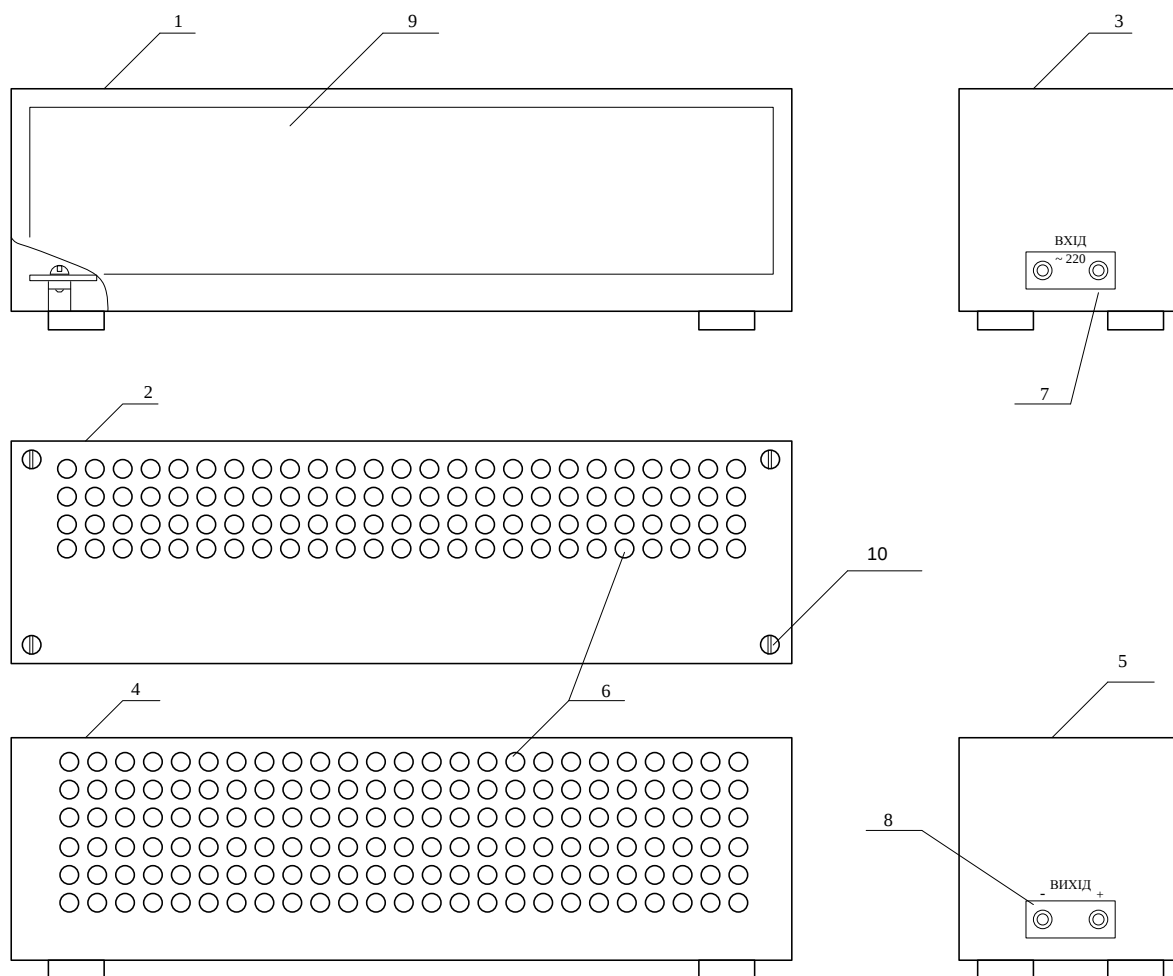


Рисунок 1.22 – Перший і другий варіант компоновання конструкції корпусу

- 1 – Корпус, вид зпереду;
- 2 – Корпус, вид зверху;
- 3 – Корпус, вид злівого боку;
- 4 – Корпус, вид ззаду;
- 5 – Корпус, вид зправого боку;
- 6 – Отвори вентиляції;
- 7 – Роз'єми вхідної змінної напруги;
- 8 – Роз'єми вихідної імпульсної напруги;
- 9 – Плата з елементами.
- 10 – Кріпильні гвинти верхньої кришки

Другий варіант (рис. 1.22) мав схожу конструкцію з першим варіантом приладу, але корпус був виготовлений з алюмінію. Це зробить пристрій більш стійким до ударів, захистить його від перешкод, але якість конструкції зміниться.

Щоб визначити найкращий варіант конструкції, ми розрахуємо масу та об'єм обох версій, а потім порівняємо їх між собою, враховуючи вагові коефіцієнти.

1.5.3 Визначення розмірів конструкції

Визначимо габаритні розміри плати за співвідношенням

$$S_{\text{плати}} = \sum S_{\text{уст.}} \times q, \quad (1.3)$$

де $\sum S_{\text{уст.}}$ – це сума установочних площ усіх радіоелементів, що знаходяться на платі;

q – це коефіцієнт дезінтеграції. ($q = 2 \dots 4$)

Знайдемо $\sum S_{\text{уст.}}$, додавши дані

$$\sum S_{\text{уст}} = 3617 \text{ мм}^2 = 36,17 \text{ см}^2,$$

маємо орієнтовну площу плати

$$S_{\text{плати}}^{\text{ор}} = 3617 \times (1 \dots 4) = (7234 \dots 14468) \text{ мм}^2.$$

Реальні розміри плати 200×45 мм, при цьому площа плати

$$S_{\text{плати}} = 9000 \text{ мм}^2 = 90 \text{ см}^2.$$

Розміри друкованої плати будуть однаковими для всіх варіантів компонування.

Висота корпусу залежить від максимальної висоти радіодеталі з урахуванням товщини самої друкованої плати (1,5 мм) і способу пайки клем компонента [5]. Завдяки двосторонньому монтажу паяні радіодеталі мають довжину проводів 1,5-2 мм і монтуються на висоті 1 мм над платою. Найвищими компонентами на друкованій платі є алюмінієва пластина радіатора з одного боку (50 мм), а найвищими компонентами з іншого боку є конденсатори С1, 6, 7, 19, 20 (3 мм), тому

$$h_{\text{плати з елем.}} = 56 \text{ мм.}$$

Габаритні розміри приладу визначено таким чином.

Внутрішній об'єм залежить від об'єму, що займає друковану плату з радіoeлементами (а також певний запас на кріплення).

Для *першого варіанту*:

Внутрішні розміри:

а) висота

$$h_{\text{вн}} = h + h_{\text{зап}} = 56 + 10 = 66 \text{ мм;}$$

б) довжина

$$a_{\text{вн}} = a_{\text{пл}} + a_{\text{зап}} = 200 + 10 = 210 \text{ мм;}$$

в) *ширина* (width)

$$b_{\text{вн}} = b_{\text{пл}} + b_{\text{зап}} = 45 + 10 = 55 \text{ мм;}$$

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота

$$h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 66 + 2 \cdot 1 = 68 \text{ мм;}$$

б) довжина

$$a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 210 + 2 \cdot 1 = 212 \text{ мм;}$$

в) ширина

$$b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 55 + 2 \cdot 1 = 57 \text{ мм.}$$

Внутрішній об'єм корпусу становить:

$$V_{\text{вн}}^{\text{корп}} = 66 \times 210 \times 55 = 762300 \text{ мм}^3 = 762,3 \text{ см}^3$$

Зовнішній об'єм корпусу:

$$V_{\text{зовн}} = 68 \times 212 \times 57 = 821712 \text{ мм}^3 = 821,7 \text{ см}^3$$

Для другого варіанту:

Внутрішні розміри:

а) висота

$$h_{\text{вн}} = h + h_{\text{зап}} = 56 + 10 = 66 \text{ мм};$$

б) довжина

$$a_{\text{вн}} = a_{\text{пл}} + a_{\text{зап}} = 200 + 10 = 210 \text{ мм};$$

в) ширина

$$b_{\text{вн}} = b_{\text{пл}} + b_{\text{зап}} = 45 + 10 = 55 \text{ мм};$$

зовнішні габарити (з урахуванням товщини корпусу):

а) висота

$$h_{\text{зовн}} = h_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 66 + 2 \cdot 0,5 = 67 \text{ мм};$$

б) довжина

$$a_{\text{зовн}} = a_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 210 + 2 \cdot 0,5 = 211 \text{ мм};$$

в) ширина

$$b_{\text{зовн}} = b_{\text{вн}} + 2 \times t_{\text{стінки}} = 55 + 2 \cdot 0,5 = 56 \text{ мм}.$$

Внутрішній об'єм корпусу становитиме:

$$V_{\text{вн}}^{\text{корп}} = 66 \times 210 \times 55 = 762300 \text{ мм}^3 = 762,3 \text{ см}^3$$

Зовнішній об'єм корпусу

$$V_{\text{зовн}} = 67 \times 211 \times 56 = 791672 \text{ мм}^3 = 791,7 \text{ см}^3$$

1.5.4 Визначення маси конструкції

Знаходимо об'єм плати

$$V_{\text{пл}} = S_{\text{плати}} \times h = 90 \times 0,15 = 13,5 \text{ см}^3,$$

та масу

$$m_{\text{пл}} = V_{\text{пл}} \times \rho_{\text{мат}} = 13,5 \times 1,4 \approx 18,9 \text{ г.}$$

Знайдемо з таблиці 1 масу радіоелементів. Маса елементів, які розміщені на друкованій платі

$$m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 132,55 \text{ г,}$$

тоді сумарну масу елементів для всіх варіантів

$$m_{\text{ел}} = m_{\text{ел}}^{\text{пл.}} = 132,55 \text{ г.}$$

Маса корпусу для першого варіанту компоновання

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \times \rho_{\text{пл}} = (821,7 - 762,3) \cdot 1,35 \approx 80,2 \text{ г,}$$

Маса пристрою

$$m_{\text{прист}}^{\text{I}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 80,2 + 18,9 + 132,55 \approx 231,65 \text{ г.}$$

Маса корпусу для другого варіанту компоновання

$$m_{\text{корп}} = (V_{\text{зовн}} - V_{\text{вн}}) \times \rho_{\text{ал}} = (791,7 - 762,3) \cdot 2,7 = 79,38 \text{ г,}$$

Маса пристрою

$$m_{\text{прист}}^{\text{II}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{пл}} + m_{\text{елем}} = 79,38 + 18,9 + 132,55 \approx 230,8 \text{ г.}$$

Заносимо отримані дані в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри двох варіантів конструкції

Параметр	I	II
m, г	231,65	230,8
V, см ³	821,7	791,7

1.5.5 Розрахунок надійності коректора коефіцієнта потужності

Надійність означає здатність обладнання виконувати задані функції та визначається безаварійною роботою та ремонтпридатністю.

Під безвідмовною роботою розуміють властивість обладнання, яке безперервно зберігає працездатність у заданих умовах експлуатації протягом заданого інтервалу часу (період обкатки).

Відмова поділяється на раптову і поступову. Перша ситуація виникає внаслідок миттєвої зміни параметрів пристрою. Поступовий вихід з ладу характеризується поступовими змінами параметрів.

Надійність агрегату характеризується напрацюванням на відмову

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\sum \lambda_i} \quad (1.4)$$

де λ_i – це інтенсивність відмов радіоелементів;

T – це напрацювання на відмову.

Інтенсивність відмов радіоелементів λ_i визначена за формулами залежно від типу радіоелементу, їх номіналу та умовами використання.

Розраховуємо надійність для кожного типу радіоелементів.

Для конденсаторів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_c \quad (1.5)$$

де λ_0 – це інтенсивність відмов елементів у лабораторних умовах;

K_p – це коефіцієнт режиму, який залежить від електричного навантаження і (або) температури навколишнього середовища;

K_e – це коефіцієнт експлуатації;

K_c – це коефіцієнт, що враховує величину номіналу конденсатора.

Вихідні дані для розрахунку надійності конденсаторів зведемо в таблицю 1.3

Таблиця 1.3 – Параметри надійності конденсаторів

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_p	K_e	K_c	λ_i
Керамічні 0805	8	0,1	0,23	1	1,6	$0,29 \cdot 10^{-6}$
Танталові (чіп)	3	0,11	0,23	1	1,8	$0,14 \cdot 10^{-6}$
K10-47В	5	0,09	0,23	1	1,4	$0,14 \cdot 10^{-6}$
K50-35	2	0,13	0,23	1	2,65	$0,16 \cdot 10^{-6}$
K73-17	2	0,15	0,23	1	2,75	$0,19 \cdot 10^{-6}$
Всього						$0,92 \cdot 10^{-6}$

Для резисторів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_R \cdot K_M \quad (1.6)$$

де λ_0 – це інтенсивність відмов елементів у лабораторних умовах;

K_p – це коефіцієнт режиму, який залежить від електричного навантаження і (або) температури навколишнього середовища;

K_e – це коефіцієнт експлуатації;

K_R – це коефіцієнт, що враховує величину номіналу резистора;

K_M – це коефіцієнт, що характеризує потужність резистора.

Вихідні дані для розрахунку надійності конденсаторів зведемо в таблицю 1.4

Таблиця 1.4 – Параметри надійності резисторів

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_p	K_R	K_e	K_M	λ_i
P1-12 0805	22	0,1	0,8	0,7	1	0,7	$0,86 \cdot 10^{-6}$
B57235S509M	1	0,1	0,82	0,7	1	0,7	$0,04 \cdot 10^{-6}$
Товсто- плівкові 1206	11	0,1	0,85	0,7	1	0,7	$0,46 \cdot 10^{-6}$
Всього							$1,36 \cdot 10^{-6}$

Для мікросхеми

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_e \quad (1.7)$$

де λ_0 – це інтенсивність відмов елементів у лабораторних умовах;

K_e – це коефіцієнт експлуатації;

Дані розрахунку надійності конденсаторів заносимо до таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Параметри надійності мікросхеми

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_e	λ_i
IR1150S	1	0,6	1	$0,6 \cdot 10^{-6}$

Для діодів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_d \cdot K_{S1} \cdot K_\Phi \quad (1.8)$$

де λ_0 – це інтенсивність відмов елементів у лабораторних умовах;

K_p – це коефіцієнт режиму, який залежить від електричного навантаження і (або) температури навколишнього середовища;

K_e – це коефіцієнт експлуатації;

K_{S1} – це коефіцієнт, що залежить від величини відношення робочої напруги до максимально допустимого за ТУ;

K_{ϕ} – це коефіцієнт, що враховує функціональні призначення елемент;

K_d – коефіцієнт, що залежить від максимально допустимого прямого струму.

Вихідні дані для розрахунку надійності конденсаторів зведемо в таблицю 1.6

Таблиця 1.6 – Параметри надійності діодів

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_p	K_{ϕ}	K_e	K_d	K_{S1}	λ_i
S3D(J)	3	0,4	0,36	1.5	1	0,6	0.7	$0,27 \cdot 10^{-6}$
SM5819	3	0,6	0,36	1.5	1	0,6	0.6	$0,35 \cdot 10^{-6}$
KBU6M	1	0,8	0,36	1.5	1	0,6	0.8	$0,21 \cdot 10^{-6}$
BAV70	1	0.42	0.36	1.5	1	0.6	0.6	$0.08 \cdot 10^{-6}$
BZX55C18V	1	0.45	0.36	1.5	1	0.6	0.4	$0.05 \cdot 10^{-6}$
8ETH06	1	0.5	0.36	1.5	1	0.6	0.5	$0.08 \cdot 10^{-6}$
Всього								$1.04 \cdot 10^{-6}$

Для транзистора

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_d \cdot K_{S1} \cdot K_{\phi} \quad (1.9)$$

Дані розрахунку надійності конденсаторів заносимо до таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Параметри надійності транзистора

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_p	K_{ϕ}	K_e	K_d	K_{S1}	λ_i
IRFP450	1	0,6	0,36	1.5	1	0,8	1	$0,26 \cdot 10^{-6}$

Для індуктивних елементів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \cdot K_L \quad (1.10)$$

де K_L – коефіцієнт, що характеризує номінал індуктивного елементу;
Вихідні дані для розрахунку надійності індуктивних елементів зведемо в таблицю 1.8

Таблиця 1.8 – Параметри надійності індуктивних елементів

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_p	K_L	K_e	λ_i
Дросель	1	0,6	0,8	0,9	1	$0,43 \cdot 10^{-6}$
Трансформатор	1	0,8	0,8	0,9	1	$0,58 \cdot 10^{-6}$
Всього						$1,01 \cdot 10^{-6}$

Для роз'ємів

$$\lambda_i = \lambda_0 \cdot K_p \cdot K_e \quad (1.11)$$

Вихідні дані для розрахунку надійності індуктивних елементів зведемо в таблицю 1.9

Таблиця 1.9 – Параметри надійності індуктивних елементів

Найменування елемента	Кількість	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}$	K_e	λ_i
Роз'єм 126-5,0-02P-14	3	0,07	1	$0,21 \cdot 10^{-6}$

Крім того необхідно врахувати місце пайки

$$\lambda_{\Pi} = n_{\Pi} \cdot \lambda_0 \quad (1.12)$$

де n_{Π} – кількість місць для пайки

$$\lambda_{\Pi} = 150 \cdot 0,07 \cdot 10^{-6} = 10,5 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год).}$$

Сумарна інтенсивність відмов пристрою буде становити

$$\sum \lambda_i = (0.92 + 1.36 + 0.6 + 1.04 + 0.26 + 1.01 + 0.21 + 10.5) \cdot 10^{-6} = 15.9 \cdot 10^{-6} \text{ (1/год)}$$

Розрахуємо середнє напрацювання на відмову

$$T_{cp} = \frac{1}{\sum \lambda_i} \text{ (год.)} \quad (1.13)$$

Підставимо дані

$$T_{cp} = \frac{1}{15.9 \cdot 10^{-6}} = 62890 \text{ (год.)}$$

1.5.6 Вибір оптимального варіанту конструкції

Обрання оптимального варіанту конструкції буде здійснено шляхом розрахунку показника конструкції

$$K = \frac{m^i}{m^{T3}} K_m + \frac{V^i}{V^{T3}} K_V, \quad (1.14)$$

де V^{T3} , m^{T3} – це об'єм та маса згідно індивідуального завдання.

K_m , K_V – це вагові коефіцієнти, що визначаються залежно від умов експлуатації. Їх обирають такими

$$K_m = 0.8, \quad K_V = 0.9.$$

Оптимальним буде той варіант, в якому показник K найменший.

За базовий приймаємо 1-й варіант компонування приладу, 2-й варіант порівнюємо з ним.

Для I варіанту

$$K_1 = \frac{231.65}{250} \cdot 0.8 + \frac{821.7}{1000} \cdot 0.9 = 1.48.$$

Для II варіанту

$$K_2 = \frac{230.8}{250} \cdot 0.8 + \frac{791.7}{1000} \cdot 0.9 = 1,45.$$

Розрахунок показує, що друга схема компоновки конструкції має найменший коефіцієнт K і тому є оптимальною.

Тому ми прагнули мінімізувати розміри пристрою та досягти оптимального розміщення компонентів у корпусі.

1.6 Розробка конструкції друкованої плати

1.6.1 Вибір типу друкованої плати

При виборі типу друкованої плати для розробки конструкції слід враховувати техніко-економічні показники друкованої плати, які характеризуються високою якістю комутації та підвищеною міцністю зв'язку між виводом шарнірних елементів. і шаблон друкованої плати.

1.6.2 Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Для цього виробу, враховуючи, що електропроводка складна, а схема пов'язана з джерелом живлення, найкращим варіантом буде вибір друкованої плати другого рівня точності (що не потребує використання якісних матеріалів, інструментів, та обладнання).

Даний клас характеризується наступними елементами конструкції:

- а) ширина провідника в широких місцях 0,45 мм;
- б) ширина провідника у вузьких місцях 0,25 мм;
- в) відстань між двома провідниками 0,45 мм;
- г) гарантійний поясок зовнішнього шару 0,2 мм;
- д) гарантійний поясок внутрішнього шару 0,1 мм.

В вузьких місцях ширина провідника задається таким чином – для другого це буде третій клас.

1.6.3 Вибір матеріалу друкованої плати

До матеріалу висуваємо наступні вимоги:

- 1) висока технологічність;
- 2) високі електрофізичні властивості;
- 3) можливість працювати в умовах вакууму;
- 4) забезпечення високої адгезії;
- 5) мінімальні механічні короблення.

При виборі матеріалу друкованої плати зручно звести їх параметри і характеристики в таблицю 1.10

Таблиця 1.10 – 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, °C	-60...+80	-60...+70	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K)	0,25...0,3	0,23...0,34	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ K ⁻¹	22	22	8...9

Найчастіше при виготовленні друкованих плат використовують склотекстоліт і гетинакс марок:

- ГФ – фрустрований гетинакс;
- СФ – фольгований склотекстоліт;
- ФГС – фольговане скловолокно;
- СФПН - термостійкий фольгований склотекстоліт;
- STF - скловолокно термостійке.

Товщина друкованої плати визначається товщиною вихідного матеріалу і вибирається з урахуванням компонентної бази і навантаження.

Згідно з таблицею 3 найкращі параметри має скловолокно. Тому для матеріалу друкованої плати вибираємо двосторонній фольгований склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5, з товщиною фольги 35 мкм і товщиною фольгованого матеріалу 1,5 мм.

1.6.4 Розробка ескізу друкованої плати

Монтаж навісних компонентів на друкованих платах здійснюється відповідно до ОСТ4.010030.82. При розміщенні компонентів необхідно враховувати наступні фактори. Забезпечити високу надійність. Звести до мінімуму габаритні розміри. Забезпечити відведення тепла та придатність до експлуатації.

Під час прокладки ви повинні досягти мінімальної довжини з'єднань, звести до мінімуму паразитні з'єднання між провідниками та компонентами та, якщо можливо, рівномірно розподілити підвішені компоненти по платі.

Для складного трасування вибираємо крок координатної сітки 2,5 мм. Розміщуємо координатну сітку в початку координат згідно ГОСТ 2.417-78. Далі за допомогою панелі інструментів креслення малюємо контур контуру. плату , а потім обробивши графічне зображення в програмі «ORCAD LAYOUT» накладемо провідники під кутами 45° і 90°.

Ми почали розробку друкованої плати, завантаживши OrCAD Layout і вибравши опцію File/New.

Спочатку в робочу папку вводимо назву технічного шаблону - default.tch (відноситься до стандартного набору OrCAD). Оскільки бібліотека елементів у пристрої є сторонньою, шаблон metric.tch не можна використовувати. Пояснюється це відстанню в дюймах між клеюю і осьовим отвором радіоелемента.

Далі виберіть у робочому каталозі файл списку з'єднань `Corrector.MNL`, який у табличній формі описує електричні з'єднання між усіма компонентами, що використовуються для трасування.

Після цього вказуємо ім'я файлу плати, яку ми будемо створювати - він буде мати розширення `*.max`, для простоти назовемо його `Corrector.MAX`.

Коли список з'єднань завантажується, для кожного символу схеми в бібліотеці реєстрів компонентів `*.LLB` (бібліотеці відбитків) вибирається відповідний реєстр (керується властивостями відбитка друкованої плати або файлом `System.prt`).

Відкривши діалогове вікно, натиснувши кнопку «Підключити наявне посадочне місце до компонента», виберіть назву бібліотеки та корпус, зображення якого підходить для елемента сценарію, для якого не знайдено зарезервованого місця. Після завершення завантаження списку підключень на робочому екрані `OrCAD Layout` було отримано корпус компонентів з електричними підключеннями для проекту.

Налаштування сітки міліметрового поля в меню «Параметри/Параметри системи» значно полегшить малювання та розміщення компонентів.

Виберіть команду `Інструменти/Перешкоди/Новий` і намалюйте межу для розміщення компонентів і відстеження. Оскільки трансформатора немає на друкованій платі, ми вибираємо для плати прямокутний контур.

Далі розміщуємо на платі компоненти, які повинні мати кріплення. Це роз'єм живлення, телефон і світловий індикатор. Ми робимо це за допомогою команди `Tools/Components/Selection Tool` — ми розміщуємо компоненти на місці один за одним, обов'язково закріплюючи їх натисканням клавіші `L`, щоб вони не рухалися після автоматичного розміщення.

Потім за допомогою команди `Auto / Place / Board` ми даємо програмі вказівку розмістити інші компоненти у вільній призначеній області.

Тепер ми встановлюємо ширину провідників тощо у вкладках, щоб продовжити пряме трасування плати.

За допомогою команди Options > Routing Strategy > Routing Layers в таблиці маршрутизації вимкніть два «нижніх» шару — адже плата має бути двосторонньою. Після цього скористайтесь командою «Параметри» > «Колір», щоб зберегти лише чотири видимі шари: глобальний, верхній, нижній, SSTOP. Спочатку малюються розміри друкованої плати (іноді вони збігаються з намальованими межами), наступні два шари – це шари, на яких виконується креслення, і останній шар – це шар, де на платі малюються написи та компоненти.

Використовуйте команду Auto / Autoroute / Board, щоб запустити програму автоматичного відстеження борту. Глобальні параметри стратегії автоматичної маршрутизації встановлюються в діалоговому вікні, відкритому за допомогою команди «Параметри» > «Маршрутизація» > «Налаштування». Усі інші параметри вказуються в діалоговому вікні, яке відкривається командою Параметри > Політика маршрутизації.

Після трасування командою Інструменти/Текст/Інструмент виділення редагуємо позначки елементів на дошці та малюємо креслення відповідно до вимог ДСТУ.

1.6.5 Розрахунок діаметрів контактних площадок

Діаметр контактних площадок розрахований згідно до діаметру отворів по формулі

$$D_{\text{КП}} = d_{\text{отв}} + \Delta d_{\text{вв}} + 2e + \Delta t_{\text{вв}} + 2\Delta t_{\text{тр}} + \sqrt{T_d^2 + T_{\text{д}}^2 + \Delta t_{\text{нв}}^2}, \quad (1.15)$$

де $d_{\text{отв}}$ – це діаметр отвору;

$\Delta d_{\text{вв}}$ – це верхній допуск на діаметр отвору, $\Delta d_{\text{вв}} = 0,05$ мм;

e – це ширина гарантійного пояса, $e = 0,2$ мм;

$\Delta t_{\text{вв}}$ – це верхній допуск на ширину провідника, $\Delta t_{\text{вв}} = 0,15$ мм;

$\Delta t_{\text{тр}}$ – це допуск на підтравлювання діелектрика в отворі, $\Delta t_{\text{тр}} = 0$;

T_d – це позиційний допуск розміщення отворів, $T_d = 0,15$ мм;

T_D – це позиційний допуск розміщення центрів контактних площадок,

$$T_D = 0,25 \text{ мм};$$

$\Delta t_{нв}$ – це нижній допуск на ширину провідника, $\Delta t_{нв} = -0,1$ мм.

Визначено загальний допуск:

$$\Delta D_{\text{КП}} = 0,05 + 2 \cdot 0,2 + 0,15 + 0 + \sqrt{0,15^2 + 0,25^2 + (-0,1)^2} = 0,9 \text{ мм}.$$

Діаметри отворів розраховані по формулі

$$d = d_{\text{вив}} + (0,2 \dots 0,4), \quad (1.16)$$

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

У цьому приладі елементи мають такі діаметри виводів

$$0,6; 0,8; 1,4; 3,4 \text{ мм}.$$

Маємо чотири діаметри отворів

$$d_1 = 0,6 \text{ мм};$$

$$d_2 = 0,8 \text{ мм};$$

$$d_3 = 1,4 \text{ мм};$$

$$d_4 = 3,4 \text{ мм}.$$

Знаходимо діаметри контактних площадок

$$D_1 = 0,6 + 0,9 = 1,5 \text{ мм};$$

$$D_2 = 1,2 + 0,9 = 2,1 \text{ мм};$$

$$D_3 = 1,4 + 0,9 = 2,3 \text{ мм};$$

$$D_4 = 3,4 \text{ мм}.$$

1.6.6 Розрахунок ширини друкованих провідників

Розрахунок ширини друкованих провідників здійснений за падінням напруги і за максимальним струмом, також задається ширина і технічно -

виходячи з класу точності друкованої плати. Тоді ширина друкованого провідника

$$B = \max \{b_{\min 1}, b_{\min 1}, b_{\text{тех}}\}. \quad (1.17)$$

Мінімальна ширина провідника, з розрахунку на максимальне значення струму, що протікає через провідник

$$b_{\min 1} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (1.18)$$

де $j_{\text{доп}}$ – це допустима густина струму, для двосторонньої плати, що виготовлена комбінованим методом, $j_{\text{доп}} = 38 \text{ А/мм}^2$, [13]

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

$I_{\max}$ – це максимальний постійний струм, що проходить крізь провідник, $I_{\max} = 0,05 \text{ А}$.

$$b_{\min 1} = \frac{0.05}{38 \cdot 0.035} = 0.038 \text{ мм} = 38 \text{ мкм} (<< 450 \text{ мкм}).$$

З умови допустимого падіння напруги визначено мінімальну ширину провідника

$$b_{\min} = \frac{I_{\max} \cdot \rho \cdot l_{\max}}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot t}, \quad (1.19)$$

де ρ – це питомий опір провідників, $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \times \text{мм}^2/\text{м}$, [13]

$I_{\max}$ – це струм, що проходить по провіднику, $I_{\max} = 0,05 \text{ А}$,

$l_{\max}$ – це максимальна довжина провідника, $l_{\max} = 0.106 \text{ м}$;

$U_{\text{доп}}$ – це допустиме падіння напруги (яка становить не більше 5% напруги живлення $U_{\text{доп}} = 220 \times 0,05 = 11 \text{ В}$),

t – це товщина провідника.

$$b_{\min} = \frac{0.05 \cdot 0.0175 \cdot 0.106}{11 \cdot 0.035} = 241 \text{ мкм} (<< 450 \text{ мкм}).$$

Розраховані значення ширини провідників не перевищують технологічне, тому

$$B = b_{\text{тех}} = 0,45 \text{ мм.}$$

1.6.7 Розрахунок друкованої плати на механічні дії

Визначено частоту власних коливань по формулі

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot a^2} \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) \sqrt{\frac{D}{M} ab}, \quad (1.20)$$

де a, b – це довжина і ширина плати: $a = 200$ мм, $b = 45$ мм;

D – це циліндрична жорсткість

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (1.21)$$

E – це модуль пружності, для фольгованого склотекстоліту з друкованою схемою $E = 3,2 \times 10^{10}$ Н/м²; [15]

h – це товщина плати, $h = 1,5$ мм;

ν – це коефіцієнт Пуассона, $\nu = 0,279$;

M – це маса плати з радіoeлементами, $M = 151,45$ г.

$$D = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot (1,5 \cdot 10^{-3})^3}{12(1 - 0,279^2)} = \frac{3,2 \cdot 10^{10} \cdot 3,375 \cdot 10^{-9}}{11,065908} = 9,76;$$

$$f_0 = \frac{3,14}{2 \cdot 0,20^2} \cdot \left(1 + \frac{0,20^2}{0,045^2}\right) \cdot \sqrt{\frac{9,76}{0,15145} \cdot 0,20 \cdot 0,045} = 620,3 \text{ Гц}$$

$$f \neq f_p$$

$$620,3 \text{ Гц} \neq 30 \text{ Гц}.$$

Таким чином, частота власних коливань немає співпадіння з резонансною частотою.

Визначено коефіцієнт динамічності

$$K_{\text{дин}} = \frac{\sqrt{1 + [K_1(x)K_1(y) - 1]\gamma^2 + \varepsilon_{11}^2 \gamma^2}}{\sqrt{(1 - \gamma^2)^2 + \varepsilon_{11}^2 \gamma^2}} \quad (1.22)$$

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

γ – це коефіцієнт розстроювання

$$\gamma = f/f_0 = 30/620,3 = 0,048;$$

ε – це показник затухання $\varepsilon = \lambda/\pi \approx 0,01$; [1]

λ – це декремент затухання $\lambda = (2...10) \times 10^{-2}$. [16]

$$\hat{E}_{\text{дін}} = \sqrt{\frac{(1 + (1,3 \cdot 1,3 - 1) \cdot 0,048^2 + 0,01^2 \cdot 0,048^2)}{(1 - 0,048^2)^2 + 0,01^2 \cdot 0,048^2}} = 1,13$$

Вібровміщення

$$S_B = \xi_0 \times K_{\text{дин}}, \quad (1.23)$$

$$\xi_0 = \frac{a_0}{4\pi^2 (f_{\text{роб}})^2}, \quad (1.24)$$

де a_0 – це віброприскорення, $a_0 = 19,8 \text{ м/с}^2$;

$$\xi_0 = \frac{19,8}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 620,3^2} = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ (м)},$$

$$S_B = 1,31 \cdot 10^{-6} \cdot 1,13 = 1,48 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}.$$

Віброприскорення

$$a_B = a_0 \cdot K_{\text{дин}}$$

$$a_B = 19,8 \cdot 1,13 = 22,4 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Визначаємо прогин плати

$$\delta = S_B - \xi_0 \quad (1.25)$$

$$\delta = 1,48 \cdot 10^{-6} - 1,31 \cdot 10^{-6} = 0,17 \cdot 10^{-6} \text{ (м)};$$

$$\delta_{\text{пр}} = \delta_{\text{доп}} \cdot l^2, \quad (1.26)$$

$\delta_{\text{доп}}$ – допустимий прогин склотекстоліту на довжині 1 м.

$$\delta_{\text{пр}} = 11 \cdot 10^{-3} \cdot (200 \cdot 10^{-3})^2 = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

$$\delta < \delta_{\text{пр}}$$

Розрахунок показав, що таке переміщення не викличе дефекти або порушить цілісність плати.

1.6.8 Розрахунок паразитних зв'язків

Щоб оцінити перешкодостійкість друкованої плати, необхідно визначити паразитну ємність між друкованими провідниками та паразитну взаємну індуктивність між ними.

Паразитна ємність між двома друкованими провідниками

$$C = \frac{1,06 \cdot \varepsilon \cdot l_1}{\lg\left(\frac{2a}{t+b}\right)} \quad (1.27)$$

де l_1 – це довжина найбільшого взаємного перекриття двох провідників,

$$l_1 = 39 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

a – це відстань між провідниками, $a = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

t і b – це товщина і ширина провідника відповідно, $t = 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}, b = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
;

ε – діелектрична проникність середовища для провідників

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_{\Pi} + \varepsilon_{\Lambda}}{2}, \quad (1.28)$$

де ε_{Π} – це діелектрична проникність матеріалу плати, $\varepsilon_{\Pi} = 6$;

ε_{Λ} – це діелектрична проникність матеріалу лаку, $\varepsilon_{\Lambda} = 4$.

Маємо

$$\varepsilon = \frac{6 + 4}{2} = 5;$$

$$C = \frac{1.06 \cdot 5 \cdot 39 \cdot 10^{-3}}{\lg\left(\frac{2 \cdot 3.5 \cdot 10^{-3}}{35 \cdot 10^{-6} + 0.45 \cdot 10^{-3}}\right)} = 0.178 \text{ пФ } (< 1 \text{ пФ}).$$

Паразитна індуктивність між двома друкованими провідниками

$$L = 2 \cdot l_2 \cdot \left(\ln \frac{2l_2}{a+b} \right). \quad (1.29)$$

де l_2 – довжина найбільшого взаємного перекриття двох провідників,

$$l_2 \approx 3,85 \text{ см.}$$

$$L = 2 \cdot 3,85 \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3,85}{0.35 + 0.045} \right) = 47,7 \text{ (мкГн)}$$

З рекомендованих розрахунків паразитної ємності та індуктивності видно, що їх параметри знаходяться в межах норми і не потрібні додаткові засоби для їх зменшення, оскільки значення ємності та паразитної взаємної індуктивності між провідниками менше допустимих.

1.7 Забезпечення теплового режиму пристрою коректора коефіцієнта потужності

В даній розробці пристрою коректора коефіцієнта потужності присутні потужні елементи, які розсіюють найбільшу кількість тепла. Даними елементами є:

діодний міст VD4 KBU6M, транзистор VT₁ IRFP450 і діод 8ETN06, які потребують додаткового тепловідводу.

Тепловідвід забезпечується примусовою конвекцією. Посередником в передачі тепла є радіатор у вигляді алюмінієвої пластини з отворами для додаткової вентиляції. Розміри пластини 200*50*3 мм (Д*В*Т). Для забезпечення щільного контакту радіоелементів з пластиною радіатора застосовується термопаста і додаткове механічне кріплення.

1.8 Висновки до розділу

Для конструкції була обрана двостороння друкована плата, яка характеризується високою якістю комутації та підвищеною міцністю зв'язку між виводом навісних елементів і малюнком плати.

Матеріалом друкованої плати була склотекстолітова фольга СФ-2-35-1,5 ТУ ТУ16-503.271-86, оскільки матеріал друкованої плати повинен мати добру технологічність, високі електрофізичні властивості та високу адгезію.

Вдається мінімізувати розмір пристрою і досягти оптимального розміщення компонентів в корпусі. Виявилось, що найкраща конструкція пристрою – друга. Плата розміщена в алюмінієвому корпусі, що забезпечує легку конструкцію. Має вирізи для вентиляції та розетки-вимикачі.

Орієнтовна вага пристрою становить 0,230 кг, що не виходить за рамки однієї місії.

Крім цих розрахунків також наводиться вібро- і шумозахищеність конструкції. Всі конструктивні рішення підтверджені розрахунками.

2 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ ПРИСТРОЮ

2.1 Аналіз конструкторсько-технологічних характеристик

Однією з найважливіших характеристик РЕА є технологічність конструкції, під якою слід розуміти сукупність властивостей РЕА, що дозволяють оптимально використовувати кошти, матеріали та час під час виробництва, виготовлення, операцій і технічної підготовки виробництва. Порівняння ремонтів з відповідними показниками подібних споруд того ж призначення.

Для оцінки технологічності РЕА використовуються відносний показник K_i та зведений показник K_k , які розраховуються за середньозваженою величиною відносних показників і враховують коефіцієнт φ_i , що характеризує важливість показника, тобто, рівень впливу на трудомісткість виготовлення продукту.

Діапазон значень відносного показника K_i знаходиться в межах $0 \leq K_i \leq 1$, а зростання показника відповідає вищій технологічності радіоелектронної апаратури. Вирази для обчислення відносних показників можуть мати вигляд простих співвідношень $\frac{a}{b}$, або $1 - \frac{a}{b}$.

Перший вираз використовується, коли значення наближається до b , що відповідає збільшенню технологічності ПЕА, а другий вираз використовується, коли значення a наближається до b , що знижує технологічність. Коефіцієнт φ розраховується за такою формулою

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{i-1}} \quad (2.1)$$

де i – це порядковий номер показника технологічності у рангованій послідовності.

Основними показниками технологічності радіотехнічного обладнання є: коефіцієнт підготовки радіодеталей КПРЕ (де $\varphi = 1$), коефіцієнт автоматизації пристрою КАМ ($\varphi = 1$), коефіцієнт складності складання КС ЗБ ($\varphi = 0,75$),

коефіцієнт КМК. механізації контролю ($\varphi = 0,5$), коефіцієнт прогресування утворення КВ ($\varphi = 0,31$), коефіцієнт повторюваності радіоактивних елементів КПОВ РЕ ($\varphi = 0,185$), коефіцієнт трудомісткості обробки КСОБ ($\varphi = 0,11$). Розрахуємо ці коефіцієнти за наведеною нижче формулою.

Коефіцієнт підготовки ЕРЕ

$$K_{\text{ПРЕ}} = \frac{N_{\text{МІДА}}}{N_{\text{РЕ}}} \quad (2.2)$$

де $N_{\text{М ПРЕ}}$ – це кількість радіоелементів, які формуються автоматизовано;

$N_{\text{РЕ}}$ – це загальна кількість радіоелементів у виробі.

$$K_{\text{ПРЕ}} = \frac{66}{68} = 0,97$$

Коефіцієнт автоматизації монтажу

$$K_{\text{АМ}} = \frac{N_{\text{АМ}}}{N_{\text{М}}} \quad (2.3)$$

де $N_{\text{АМ}}$ – це кількість монтажних з'єднань, що виконані автоматично;

$N_{\text{М}}$ – це загальна кількість з'єднань;

$$K_{\text{АМ}} = \frac{142}{150} = 0.95$$

Коефіцієнт складності збірки

$$K_{\text{СЗБ}} = 1 - \frac{N_{\text{ТСК}}}{N_{\text{ТВ}}} \quad (2.4)$$

де $N_{\text{ТСК}}$ – це кількість типорозмірів вузлів, що під час складання потребують регулювання;

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

$$K_{\text{СЗБ}} = 1 - \frac{1}{3} = 0,67$$

Коефіцієнт механізації контролю

$$K_{MK} = \frac{N_{MK}}{N_K} \quad (2.5)$$

де N_{MK} – це кількість автоматизованих контрольних операцій;

N_K – це загальна кількість контрольних операцій;

$$K_{MK} = \frac{1}{2} = 0,5$$

Коефіцієнт прогресивності формоутворення

$$K_{\Phi} = \frac{N_{PP}}{N_0} \quad (2.6)$$

де N_{PP} – це кількість деталей, що виконані прогресивним методом (для нашого випадку це є корпус і кришка з алюмінію);

N_0 – це загальна кількість деталей;

$$K_{\Phi} = \frac{2}{2} = 1$$

Коефіцієнт повторюваності радіоелементів

$$K_{\text{пов PE}} = 1 - \frac{N_{\text{Т PE}}}{N_{\text{PE}}} \quad (2.7)$$

де $N_{\text{Т PE}}$ – це кількість типорозмірів радіоелементів;

N_{PE} – це загальна кількість радіоелементів;

$$K_{\text{пов PE}} = 1 - \frac{17}{68} = 0,75$$

Коефіцієнт складності обробки

$$K_{\text{с об}} = 1 - \frac{N_{\text{СТР}}}{N_0} \quad (2.8)$$

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

N_0 – це загальна кількість деталей;

$$K_{\text{С ОБ}} = 1 - \frac{0}{2} = 1$$

До кількості показників, які обирають як базові, необхідно включати показники, що здійснюють максимальний вплив на технологічність конструкції РЕА конкретного призначення та умов використання.

Склад базових показників технологічності, коефіцієнти значимості ϕ_i для радіотехнічних виробів та їх рангована послідовність за значимістю приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - 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	1	0,75	0,5	0,31	0,185	0,11
K_i	0,97	0,95	0,67	0,5	1	0,75	1

Основний показник, який використано для оцінювання технологічності конструкції – це є комплексний показник, що визначений на основі базових показників по формулі

$$K_K = \frac{\sum_{i=1}^S K_i \phi_i}{\sum_{i=1}^S \phi_i}; \quad (2.9)$$

де K_i – це базовий показник відповідного класу блоків РЕА;

i – це порядковий номер показника у рангованій послідовності;

S – це загальна кількість взятих базових показників технологічності;

$$K_K = \frac{0.97 \cdot 1 + 0.95 \cdot 1 + 0.67 \cdot 0.75 + 0.5 \cdot 0.5 + 1 \cdot 0.31 + 0.75 \cdot 0.185 + 1 \cdot 0.11}{1 + 1 + 0.75 + 0.5 + 0.31 + 0.185 + 0.11} = 0,84$$

За відомим нормативним комплексним показником оцінювання технологічності РЕА здійснене відношенням досягнутого коефіцієнта K_K до

нормативного K_H , при цьому таке відношення необхідно щоб задовольняло умові $\frac{K_K}{K_H} \geq 1$.

Для оцінювання технологічності для нашої конструкції обираємо $K_H=0,8$ та обчислюємо

$$\frac{K_K}{K_H} = \frac{0,84}{0,8} = 1,05.$$

Як видно з розрахунків отримане значення $1,05 \geq 1$, тобто задовольняє умові, а тому технологічність є достатньою та не потребує додаткових заходів для її підвищення.

2.2 Розробка технології складання пристрою

Проектування процесу слід розглядати як проектування, яке повністю відповідає вимогам використання продукту та може бути реалізоване з найбільш економічним процесом.

Всі навісні елементи перед установкою і складанням готуються, під час якої випрямляються, підрізаються, лудяться і згинаються виводи. У цій конструкції зігнутими повинні бути тільки клеми проводів дроселя і трансформатора.

Підготовка шарнірних частин здійснюється за допомогою спеціального обладнання та пристроїв, що дозволяють механізувати ці операції.

Процес складання і монтажу блоків включає наступні етапи:

- Підготовка монтажних проводів, зачистка, лудіння кінців, підготовка ЕРЕ до пайки;
- Закріпите кріпильні дроти і виходи радіодеталей на друкованій платі;
- Зварювання стиків;
- Контроль якості виконання робіт.

2.3 Технологічний процес виготовлення друкованої плати

З метою зменшення розмірів функціональних блоків виготовляються двосторонні друковані плати (друковані плати). Для виготовлення таких панелей найбільш технологічним є комбінований спосіб.

Послідовність операцій при виготовленні ДДП цим методом така:

- Використовуйте метод контактної експозиції для виготовлення робочих фотошаблонів;
- З'єднати зображення двох фотошаблонів (верхнього і нижнього шарів) і склеїти конверти для двосторонньої експозиції між плівками фотошаблону з однакової товщини.
- Для автоматичного вирівнювання отворів на фотошаблонах попередньо розмічені базові отвори пробиваються з точністю до 0,05 мм;
- Написати програми для свердління отворів на верстатах з ЧПК;
- Розріжте лист на заготовки;
- Зберіть сляби в пакети по 8-10 штук. і виготовлення опорних отворів (на матриці пуансонами);
- Свердлили отвори на верстатах з ЧПК;
- Очищення заготовок;
- Металізація хімічним осадженням хлориду паладію;
- Металізована обробка отворів (за допомогою спеціальних металокерамічних свердел з твердого сплаву);
- Хімічна очистка листового фольгованого покриття;
- Покриття тонкоплівковий фоторезист типу FISH-1 товщиною 70 мкм;
- Вставте плиту в конверт і вирівняйте отвори основи;
- Для щільного прилягання шаблону до заготовки повітря між шаблонами відтягується для утворення вакууму;
- Двостороння експозиція за допомогою джерела ультрафіолетового світла;
- Виробництво фоторезистів в конвеєрних потокових установках модульного типу, оснащених блоками, що забезпечують розчини шляхом

фільтрації та контролю тиску. Для прояву можна використовувати розчини: трихлоретилен 70%, толуол 30%;

- Деполімеризація фоторезисту проводиться при температурі 180°C;
- Травлення міді з заготовки проводиться хімічним шляхом в розчині хлорокису міді, оскільки вона не взаємодіє з дубленим фоторезистом;
- Зняття захисного фоторезисту за допомогою органічного травника;
- Гальванічне покриття доріжок із сплавом “Розе”;
- Промивка друкованих плат в дистильованій воді;
- Вирубка друкованих плат із технологічних заготовок;
- Оброблення контуру друкованої плати;
- Нанесення маркувальних знаків;
- Контроль друкованої плати відділом технічного контролю (ВТК).

2.4 Технологія монтажу елементів на друкованій платі

Процес монтажу включає в себе наступні операції: нанесення флюсу; За допомогою пензлика нанесіть флюс на з’єднувальні поверхні.

Перед паянням флюс висушують при температурі 80–100 °C і плату нагрівають. Причина цього полягає в тому, що під час взаємодії рідкого флюсу з розплавленим припоєм розчинник бурхливо кипить і утворює велику кількість газів і парів, які витісняють розплавлений припій із зони пайки та викликають пористість у встановленому з’єднанні. Коли розплавлений припій контактує з невисохлим флюсом, його поверхневий шар охолоджується за рахунок тепла пароутворення, що знижує якість зварювання. Попередній нагрів плати також допомагає встановити тепловий баланс у системі пайки плати, зменшуючи термічний удар, внутрішні напруги в з’єднаннях і викривлення друкованої плати. Для пайки компонентів ми використовуємо флюс КЕ, який містить 30-40% каніфолі та 70-60% етанолу.

За припій вибираємо легкоплавкий ПОС–61 із вмістом олова 61 %. Температура плавлення припою ПОС–61 становить 183 °C. Послідовність операцій монтажу елементів на друкованій платі;

1) Увімкніть паяльник. Переконайтеся, що є заземлення, необхідна кількість припою та флюсу, а також перевірте, чи працює місцева витяжна вентиляція та одягніть антистатичний браслет;

2) Припаяти конденсатор. Тривалість зварювання не повинна перевищувати 4-5 секунд. Перегрів радіодеталей може змінити їх параметри;

3) Припаяний резистор;

4) Зварити дросель і трансформатор;

5) Зварювання стружки;

6) Припаяти діод;

7) Припаяти транзистор;

8) Контрольно-налагоджувальні роботи зварювання.

При пайці припій повинен затікати у вільний простір між стінками металізованого отвору і клемою і трохи розширюватися в сторону розташування компонента. Необхідно намагатися уникати надмірного розтікання припою на клемах і слідах. У процесі зварювання зварювальна поверхня повинна бути добре зволожена і окислена при нагріванні до заданої температури. заданий режим процесу, а також надійна фіксація поверхонь, що з'єднуються, на етапі застигання припою. Встановлені з'єднання повинні забезпечувати задану механічну міцність, високу електропровідність і стійкість до корозії [16].

Після паяння на поверхні друкованої плати залишається певна кількість флюсу та продуктів його розпаду, що спричинить корозію контактних з'єднань і погіршить діелектричні властивості використовуваних матеріалів. Тому чистка друкованої плати необхідна. Сліди каніфольних флюсів знешкоджують шляхом промиванням протягом 0,5–1 хв у таких розчинниках, як спирт або суміш бензину та спирту в пропорції (1:1).

2.5 Технологія складання пристрою

Пристрій збирають у такій послідовності:

1) здійснюють посадку на гвинти друкованої плати в корпусі;

- 2) виконують кріплення розеток та роз'єму в отвори у корпусі збоку пристрою;
- 3) проводять зв'язки між друкованою платою та елементами на корпусі з використанням монтажних дротів.
- 4) корпус закривається зверху кришкою, яка кріпиться гвинтами.

2.6 Висновки до розділу

В даній частині дипломного проекту було розраховано комплексний показник технологічності, який дорівнює 0,84, при порівнянні коефіцієнтів виявилось, що технологічність є достатньою і не потребує заходів для підвищення.

3 СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИСТРОЮ КОРЕКТОРА КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ

3.1 Опис програмного пакету OrCAD, який використовувався для моделювання роботи пристрою

Перед створенням нового проекту ви повинні встановити параметри конфігурації за допомогою таких команд меню параметрів: «Параметри», «Шаблони дизайну» та «Властивості дизайну».

- Використовуйте команду «Параметри», щоб встановити параметри сценарію, які зберігаються у файлі конфігурації Capture.ini та ініціалізуються щоразу, коли запускається програма OrCAD Capture. Внести зміни в ці параметри в існуючому сценарії, якщо проект був створений в іншій системі OrCAD, будуть враховані параметри, що містяться в поточному файлі Capture.ini;
- Команда Design Template встановлює параметри для схеми, які встановлюються за замовчуванням при створенні всіх нових проектів (вони вводяться в розділі [Design Template] файлу Capture.ini); Тому перед створенням нової схеми необхідно перевірити і при необхідності змінити їх значення
- Використовуйте команди «Властивості проекту» або «Властивості сторінки схеми», щоб установити параметри для кожного поточного сценарію [18].

3.1.1 Створення нового проекту

OrCAD CAPTURE дозволяє створити наступні види файлів послідовністю команд із меню File :

- > New > Project – створення проекту;
- > Design – створення схеми (створення друкованої плати, моделювання схеми не можливо);
- > Library – створення бібліотеки умовних графічних позначень;

> VHDL File – створення файлу у форматі VHDL (VHDL – мова високого рівня для опису схем);

> Text File – створення текстового файлу – коментар до проекту.

При створенні нового проекту з'являється діалогове вікно New Project, в якому задають ім'я проекту який створюється (поле Name). Також задають ім'я каталогу, де зберігатиметься проект (поле Location) та тип проекту, що створюється:

- Analog or Mixed Signal Circuit – аналогові або змішані аналого-цифрові пристрої (рекомендується);
- PC Board Wizard – друкована плата;
- Programmable Logic Wizard – пристрої програмувальної логіки (ПЛИС);
- Schematic – неспеціалізований проект.

При створенні нового проекту вам необхідно вибрати його тип як Analog або Mixed A/D, щоб після проектування електричної схеми ви могли використовувати програму PSPICE для моделювання схем і розробки друкованих плат з її допомогою ORCAD.

При заповненні назви проекту і каталогу потрібно пам'ятати, що вони не повинні містити російських букв. Рекомендується зберігати кожен проект в окремому каталозі, оскільки крім цього файлу програма створює власні додаткові файли, всі з заданим іменем і різним розширенням, зі своїми іменами. Якщо ви переносите проект на інший комп'ютер, усі файли в цьому каталозі повинні бути перенесені.

Ви можете просто натиснути «Готово», щоб пропустити наступне вікно «Підключити бібліотеку». Ми можемо використовувати його будь-коли. Ми подумаємо про це пізніше.

На екрані з'являться ще два активних вікна. Ліворуч знаходиться менеджер проекту, а праворуч редактор програми. Раніше відкрите вікно журналу сеансу розташоване внизу під менеджером проекту.

Вікно менеджера проекту є основним. Воно дозволяє:

- переходити від однієї сторінки схеми до іншої, при багатосторінковій структурі схеми;
- переходити від однієї ієрархічної схеми до іншої, при ієрархічній структурі схеми;
- здійснює передачу принципової схеми до інших модулів програми OrCAD

(Layout, PSpice);

- здійснює передачу принципової схеми іншим системам автоматизованого проектування (P-CAD і ін.);
- показує ієрархічну і файлову структуру проекту.

Редактор схем дозволяє створити сторінку схеми або ієрархічний рівень (модуль) схеми. Поле Design Resources – це об'єкти, створені Вами:

design1 – перша частина проекту (може бути і єдиною), що містить схеми одного блоку;

SCHEMATIC1/PAGE1 – перша схема першого блоку, що створюється автоматично при створенні нового проекту;

Library – бібліотеки елементів, підключені до проекту;

Output – вихідні файли проекту, що необхідні для подальшої роботи зі схемою. Схема SCHEMATIC1/PAGE1 автоматично відкривається в вікні DESIGN1/SCHEMATIC1/PAGE1.

Крім цього основний екран програми OrCAD Capture CIS містить: меню команд, панель інструментів та рядок станів.

3.1.2 Розміщення символів компонентів

Бібліотека Capture містить символи для компонентів, живлення та заземлення. Розмістіть їх на схемі за допомогою команди «Розмістити» > «Частини», яку також можна активувати, клацнувши піктограму меню «Інструменти». У діалоговому вікні цієї команди спочатку виберіть імена однієї

або кількох бібліотек у списку «Бібліотеки», вміст яких з'явиться на панелі «Частини» (щоб вибрати кілька бібліотек, утримуйте клавішу Ctrl). Після цього виберіть назву компонента на панелі деталей і символ цього компонента розмістіть на схемі (якщо вибрано кілька бібліотек, поставте символ / після назви кожної бібліотеки, а потім назву компонента бібліотеки).

При заповненні назви проекту і каталогу потрібно пам'ятати, що вони не повинні містити російських букв. Рекомендується зберігати кожен проект в окремому каталозі, оскільки крім цього файлу програма створює власні додаткові файли, всі з заданим іменем і різним розширенням, зі своїми іменами. Якщо ви переносите проект на інший комп'ютер, усі файли в цьому каталозі повинні бути перенесені.

Крім цього основний екран програми OrCAD Capture CIS містить: меню команд, панель інструментів та рядок станів.

У розділі «Графіка» виберіть Звичайне або еквівалентне зображення логічного компонента в стилі ДеМоргана (перетворення). У розділі «Пакунок» вкажіть номер деталі компонента, а потім у вікні нижче відобразіть зображення вибраного компонента та вкажіть його PIN-код (у рядку «Частини в пакеті» вказано загальну кількість компонентів). різні частини компонента). Натискання кнопки «Додати бібліотеку» відкриває діалогове вікно для додавання бібліотеки до списку «Бібліотеки», натискання кнопки «Видалити бібліотеку» видаляє вибрану бібліотеку зі списку. Кнопка пошуку частини призначена для пошуку певного компонента в бібліотеці зі списку бібліотек [19].

Після натискання кнопки «ОК» символи вибраних компонентів будуть перенесені на діаграму. Переміщенням курсора компонент переміщується в потрібне положення на діаграмі і фіксується натисканням лівої кнопки миші. Після цього на діаграмі можна розмістити іншу копію того самого символу. Клацання правої кнопки миші відкриває спливаюче меню, яке повторно викликає команди головного меню для повороту (Rotate), дзеркального відображення (Mirror), зміни масштабу зображення (Zoom), редагування параметрів компонента (Edit Properties) та числових інших. Після вибору в

цьому меню команди «Режим завершення» або натискання клавіші Esc розміщення символу вибраного компонента на схемі завершено.

3.2 Результати моделювання

Спрощена схема моделювання пристрою коректора коефіцієнта потужності подана на рис. 3.1.

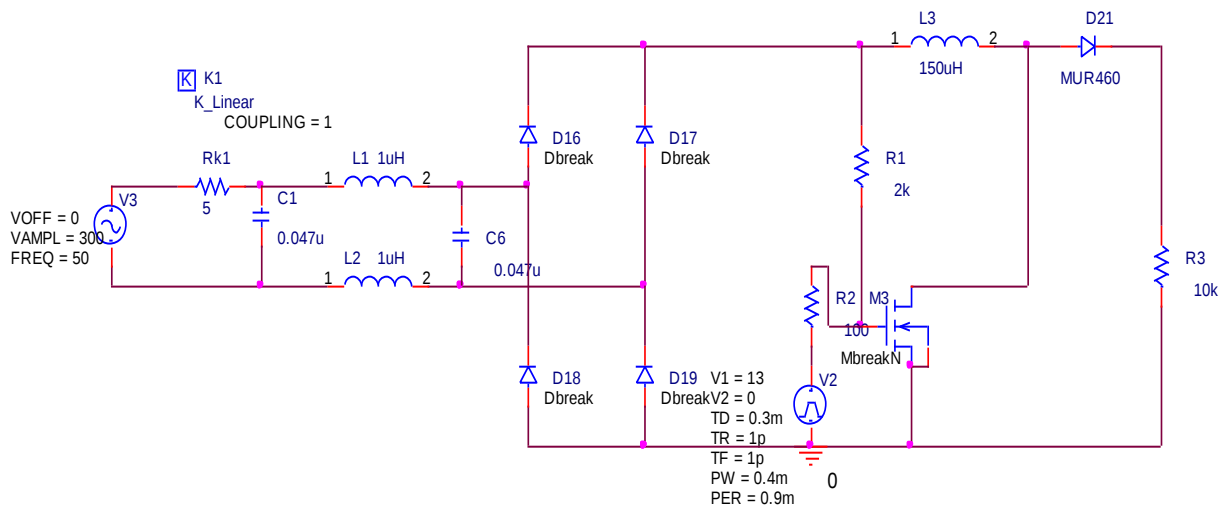


Рисунок 3.1 – Спрощена схема моделювання пристрою коректора коефіцієнта потужності

В зв'язку з відсутністю в програмі Capture CIS спеціалізованої мікросхеми IR1150S, то для здійснення моделювання було зроблено спрощення електричної схеми до вигляду можливості отримання графіків, які ілюструють принцип роботи пристрою коректора коефіцієнта потужності.

На рисунку 3.2 представлено результат моделювання вхідної напруги після випрямного мосту.

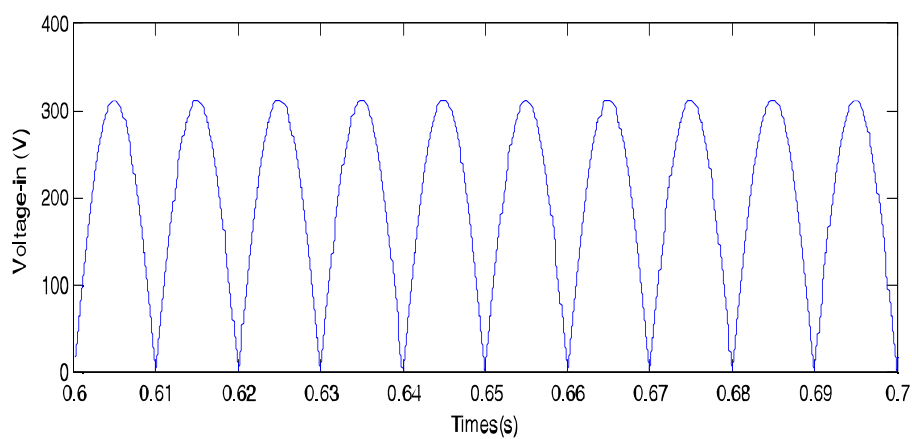


Рисунок 3.2 – Напряга після випрямного моста

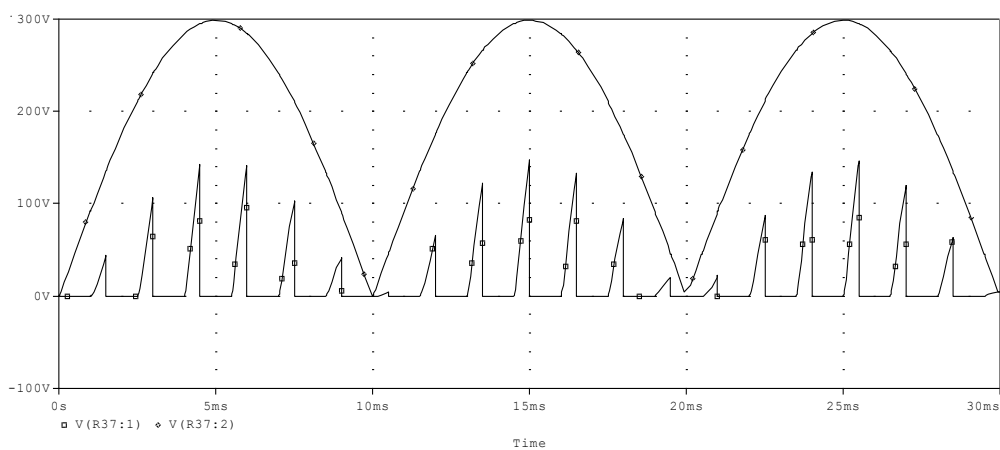


Рисунок 3.3 – Вхідна випрямлена напруга й імпульси стоку транзистора

Чим більше значення амплітуди імпульсу стоку транзистора, тим вужчий ШІМ імпульс контролера IR1150S

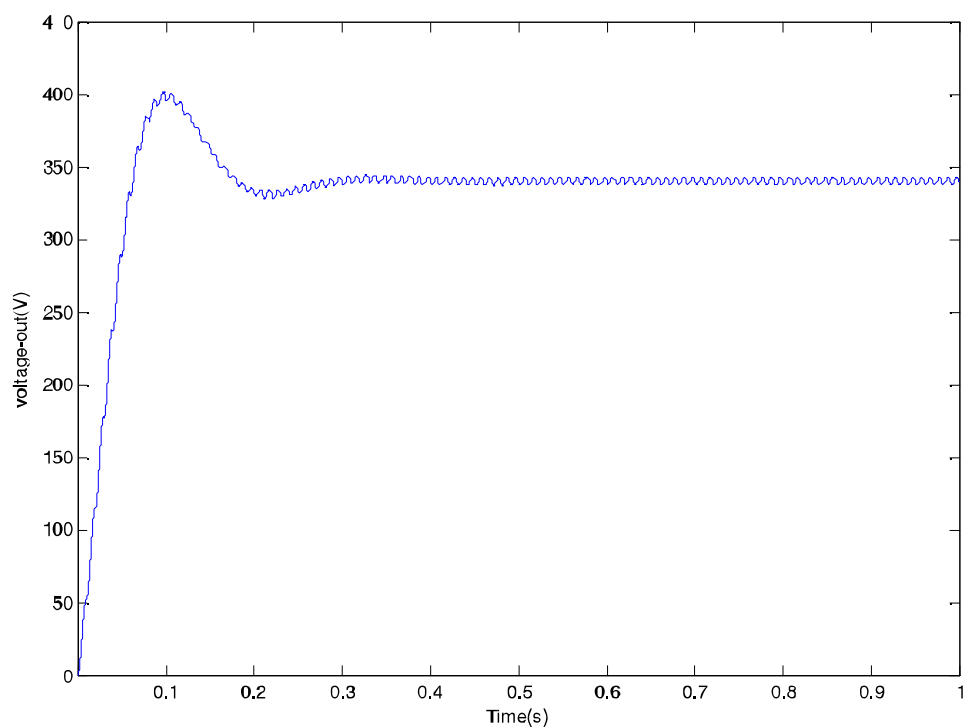


Рисунок 3.4 – Вихідна напруга схеми

Даний результат моделювання характеризує стабільність постійної вихідної напруги 360 В на виході за умови вхідної змінної напруги 220 В.

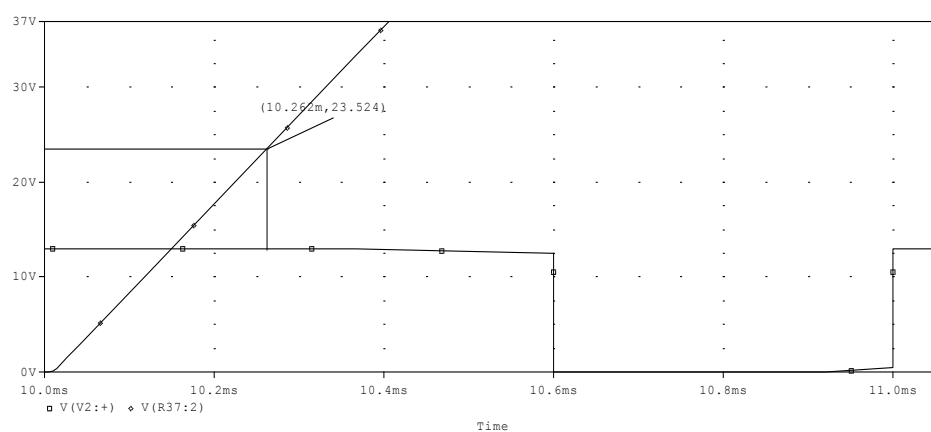


Рисунок 3.5 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,8мс при значенні напруги 23,5 В

Рисунок 3.5 показує, що при малому значенні напруги необхідна більша тривалість імпульсу транзистора для досягнення більшого значення струму.

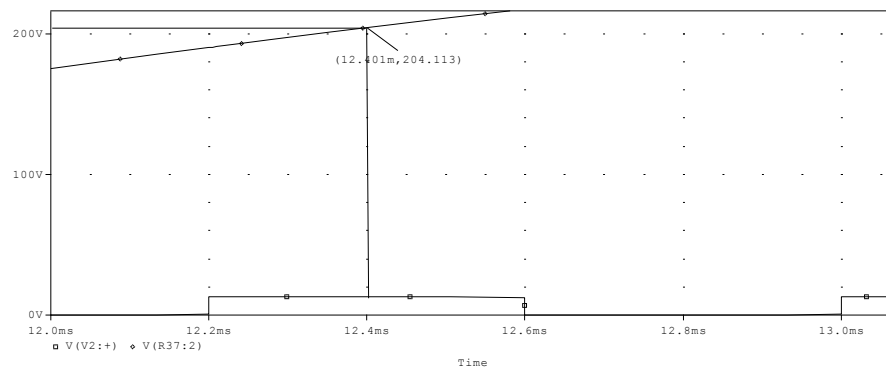


Рисунок 3.6 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,4мс при значенні напруги 204 В

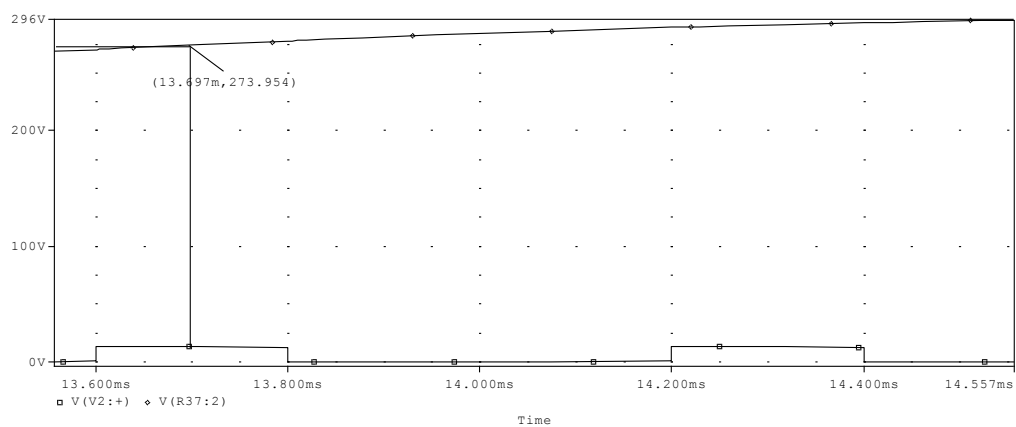


Рисунок 3.7 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,2мс при значенні напруги 273 В

3.3 Висновки до розділу

Результати моделювання підтвердили теоретичний принцип роботи пристрою, який заключається в тому, що схема забезпечує на виході стабільну постійну напругу 360 В при синусоїдальному споживанні напруги і струму з розетки. Це досягається керуючою мікросхемою, яка забезпечує певну тривалість імпульсу при даній напрузі, і чим більше значення напруги тим коротша тривалість імпульсу, яка необхідна для забезпечення необхідного рівня струму.

4 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 на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» 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.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня

комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

На сучасному етапі економіки України в умовах світової економічної кризи значно зросла роль в зменшенні витрат енергоресурсів, більш раціонального їх використання. В останні десятиліття кількість електроніки, що використовується в домашніх умовах, в офісах та на виробництві, різко збільшилася, і в більшості пристроїв застосовуються імпульсні джерела живлення. Вони генерують гармонійні і нелінійні спотворення струму, які негативно впливають на проводку електромережі та електроприлади, які підключені до неї. Цей вплив виражається не тільки в різного роду перешкодах, які позначаються на роботі чутливих пристроїв, але і в перегріві нейтральної лінії. При протіканні в навантаженнях струмів зі значними гармонійними складовими, не співпадаючими по фазі з напругою, струм у нейтральному дроті (який при симетричному навантаженні, практично, дорівнює нулю) може збільшитися до критичного значення.

Постійно зростають ціни на промислове обладнання, яке могло б використовуватись для поліпшення енергетичної картини в державі. Тому доцільно розробити аналогічну апаратуру навіть з дещо меншими функціональними можливостями, яка б вирішувала вищезгадані потреби, і одночасно була доступна у повсякденному використанні.

Необхідність дотримання правил світових положень, що визначають обмеження по максимуму коефіцієнта нелінійних (гармонійних) спотворень (КНС) для пристроїв з живленням від мережі, означає те, що застосування технології коригування коефіцієнта потужності (ККП-PFC) стало ключовим аспектом для розробників джерел живлення. Дійсно, з такими стандартами як китайський «3Cs» (China Compulsory Certificate китайський обов'язковий сертифікат), європейськими і японськими стандартами, американськими стандартами інституту IEEE, коректування коефіцієнта потужності стало обов'язковою умовою при виготовленні виробів, призначених для продажу та використання в усьому світі.

Здійснення ККП створює гарну практику проектування, надає ряд переваг, як виробникові, так і кінцевому споживачеві. Наприклад, пристрої, оснащені електродвигуном, збільшення коефіцієнта потужності дозволяє отримати більш потужні системи живлення без обмежень зростання пікового струму. У той же час, каскад ККП генерує дуже стабільну постійну напругу на шині, і необхідність у захисті компонентів від сплесків напруги виключена, що дозволяє використовувати більш низьку напругу і більш рентабельні, наступні за каскадом, компоненти.

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. 4.1 [26].

Таблиця 4.1 – 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	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на	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 досяжні 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 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	5	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	4	5	4
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	3	4	5
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	4
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	37	42	41
Середньоарифметична сума балів CB_c	40,0		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 4.3 [26].

Таблиця 4.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків	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 «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» становить 40,0 бала, що, відповідно до таблиці 4.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 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 розрахуємо за формулою [27]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

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

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (4.2)$$

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

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (4.3)$$

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 табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога

Показники (параметри)	Одиниця вимірювання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Вхідна змінна напруга	В	190...240	187..242	1,1	0,15
Коефіцієнт потужності навантаження	%	96	99,5	1,04	0,2
Амплітуда пульсацій вихідної напруги	%	4	3	1,33	0,25
ККД	%	94	96	1,02	0,15
Маса	г	300	250	1,2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,1 \cdot 0,15 + 1,04 \cdot 0,2 + 1,33 \cdot 0,25 + 1,02 \cdot 0,15 + 1,2 \cdot 0,25 = 1,16.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,16 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 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 ($З_o$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [26]

$$З_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.4)$$

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, $T_p=21$ дні.

$$З_o = 17800,00 \cdot 15 / 21 = 12714,29 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – 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 науково-дослідної роботи	17800,00	847,62	15	12714,29
Інженер-розробник радіоелектронних пристроїв	15400,00	733,33	36	26400,00
Консультант (інженер-метролог)	15600,00	742,86	5	3714,29
Всього				42828,57

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.5)$$

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.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [26];

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 $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,25 / (21 \cdot 8) = 65,48 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pl} = 65,48 \cdot 8,00 = 523,81 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодин на тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення обладнання для забезпечення розробки радіоелектронного пристрою	8,00	2	1,10	65,48	523,81
Підготовка робочого місця розробника радіоелектронного пристрою	6,30	3	1,35	80,36	506,25
Інсталяція програмного забезпечення розробника	5,65	4	1,50	89,29	504,46
Налагодження обладнання	4,30	4	1,50	89,29	383,93
Монтаж дослідного зразка	8,52	5	1,70	101,19	862,14
Випробування радіоелектронного пристрою	4,30	3	1,35	80,36	345,54
Всього					3126,13

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.7)$$

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

$$Z_{\text{доп}} = (42828,57 + 3126,13) \cdot 10 / 100\% = 4595,47 \text{ (грн.)}$$

4.3.2 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

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.8)$$

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

$$Z_n = (42828,57 + 3126,13 + 4595,47) \cdot 22 / 100\% = 11121,04 \text{ (грн.)}$$

4.3.3 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 «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури».

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

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{сж}}, \quad (4.9)$$

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.

$$M_1 = 3 \cdot 202,00 \cdot 1,01 - 0 \cdot 0 = 612,06 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – 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
Офісний папір ECONOMIC COPY 500/80 A4	202,00	3	0	0	612,06
Папір для записів ECONOMIC Parers A5	92,00	3	0	0	278,76
Органайзер офісний ECONOMIC	205,00	2	0	0	414,10
Канцелярське приладдя (набір офісного працівника) ECONOMIC	215,00	2	0	0	434,30
Картридж для принтера EPSON EX530 black	1059,00	1	0	0	1069,59
Диск оптичний ECONOMIC CD-RW	27,80	4	0	0	112,31
Flesh-пам'ять Kingston Data Traveler 128 GB	295,00	1	0	0	297,95
Тека для паперів ECONOMIC	100,00	3	0	0	303,00

Продовження таблиці 4.7 – Витрати на матеріали

Склотекстоліт СФ-2-35-1,5	345,00	0,080	0	0	27,88
Лак УР-231	392,00	0,050	0	0	19,80
Припій ПОС-61	720,00	0,020	0	0	14,54
Флюс F3	356,00	0,015	0	0	5,39
Клей ВК9	420,00	0,008	0	0	3,39
Хлорне залізо	129,00	0,025	0	0	3,26
Інші матеріали	200,00	1,000	0	0	202,00
Всього					3798,33

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_{ϵ}), які використовують при проведенні НДР на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіoeлектронної апаратури», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.10)$$

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

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

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

$$K_{\epsilon} = 2 \cdot 7,80 \cdot 1,01 = 15,76 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Діоди S3D	2	7,80	15,76
Діоди S3J	1	6,90	6,97
Діоди SM5819	3	7,45	22,57
Діоди BAV70	1	7,30	7,37
Діоди 8ETH06	1	8,50	8,59
Діодний міст KBU6M	1	26,00	26,26
Стабілітрон BZX55C18V	1	4,59	4,64
Конденсатори в асортименті	20	3,80	76,76
Мікросхема IR1150S	1	90,00	90,90
Резистори B57236S509M	1	4,80	4,85
Резистори Товстоплівкові 1206	11	5,50	61,11
Резистори P1-12	13	6,80	89,28
Кріпильні комплектуючі	1	45,00	45,45
Транзистор IRFP450	1	102,00	103,02
Дросель M2000HM K32*20*9	1	98,00	98,98
Трансформатор МП140 K36*25*9	1	189,00	190,89
Радіатор Алюміній 50*200	1	43,00	43,43
Плата ДПП 45*200	1	425,00	429,25
Корпус	1	220,00	222,20
Інші комплектуючі	1	250,00	252,50
Всього			1800,77

4.3.5 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

$$B_{спеу} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{np.i} \cdot K_i, \quad (4.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;
 $C_{np.i}$ – 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.

$$B_{спеу} = 7800,00 \cdot 1 \cdot 1,01 = 7878,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Лабораторний прецизійний мультиметр OWON XDM1041	1	7800,00	7878,00
Всього			7878,00

4.3.6 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

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.12)$$

де C_{inpr} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npr.i}$ – 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.

$$B_{npr} = 2450,00 \cdot 1 \cdot 1 = 2450,00 \text{ (грн.)}$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Середовище проектування Electronics Workbench Multisim 12	1	2450,00	2450,00
Пакет MATLAB SIMULINK	1	4560,00	4560,00
Всього			7010,00

4.3.7 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

$$A_{обл} = \frac{C_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.13)$$

де $C_{б}$ – 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;

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

$$A_{обл} = (22599,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 1883,25 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – 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 (HP Laptop 15seq2053ua)	22599,00	2	2	1883,25
Робоче місце розробника радіоелектронного пристрою	8920,00	5	2	297,33
Пристрої виводу графічної інформації	7770,00	4	2	323,75
Оргтехніка	7320,00	5	2	244,00
Приміщення лабораторії розробки радіоелектронної апаратури	400000,00	25	2	2666,67
Робоче місце тестувальника апаратури	6500,00	4	2	270,83
Пристрої передачі цифрової інформації (Маршрутизатор інтернет WiFi6 TP-Link Archer AX12)	1920,00	4	2	80,00
Паяльна станція ПС-280-A/8	6650,00	5	2	221,67
ОС Windows 11	5680,00	3	2	315,56
Прикладний пакет Microsoft Office 2021 Professional Plus	5120,00	3	2	284,44
Всього				6587,50

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.14)$$

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, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,05 \cdot 240,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 90,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер розробника (HP Laptop 15seq2053ua)	0,05	240,0	90,00
Робоче місце розробника радіоелектронного пристрою	0,09	240,0	162,00
Пристрої виводу графічної інформації	0,07	12,0	6,30
Оргтехніка	0,42	1,8	5,67
Дослідний радіоелектронний пристрій	0,04	55,0	16,50
Робоче місце тестувальника апаратури	0,02	200,0	30,00

Продовження таблиці 4.12 – Витрати на електроенергію

Пристрої передачі цифрової інформації (Маршрутизатор інтернет WiFi6 TP-Link Archer AX12)	0,02	240,0	36,00
Паяльна станція ПС-280-А/8	0,12	21,0	18,90
Лабораторний прецизійний мультиметр OWON XDM1041	0,06	200,0	90,00
Всього			455,37

4.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» 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 приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

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

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

4.3.11 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

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 55\%$.

$$I_e = (42828,57 + 3126,13) \cdot 55 / 100\% = 25275,09 \text{ (грн.)}$$

4.3.12 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

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 105\%$.

$$B_{нзв} = (42828,57 + 3126,13) \cdot 105 / 100\% = 48252,44 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 42828,57 + 3126,13 + 4595,47 + 11121,04 + 3798,33 + 1800,77 + 7878,00 + 7010,00 + 6587,50 + 455,37 + 0,00 + 0,00 + 25275,09 + 48252,44 = 162728,71 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

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

$$ZB = 162728,71 / 0,95 = 171293,37 \text{ (грн.)}.$$

4.4 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 тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення приладу (пристрою) для використання кінцевими споживачами.

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	1000	1500	1500	800

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 12500 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 6500,00 грн;

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 80,25 (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 [26]

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{g}{100}\right), \quad (4.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 35\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (80,25 \cdot 12500,00 + 6580,25 \cdot 1000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 18/100\%) = 2202970,44 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (80,25 \cdot 12500,00 + 6580,25 \cdot 2500) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 18/100\%) = 5070314,38 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (80,25 \cdot 12500,00 + 6580,25 \cdot 4000) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 18/100\%) = 7937658,31 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (80,25 \cdot 12500,00 + 6580,25 \cdot 4800) \cdot 0,83 \cdot 0,35 \cdot (1 - 18/100\%) = 9466908,41 \text{ (грн.)}.$$

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

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.20)$$

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.

$$\begin{aligned} \Pi\Pi &= 2202970,44/(1+0,15)^1 + 5070314,38/(1+0,15)^2 + 7937658,31/(1+0,15)^3 + \\ &+ 9466908,41/(1+0,15)^4 = 1915626,47 + 3833886,11 + 5219139,19 + 5412735,61 = 163813 \\ &87,37 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

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

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.21)$$

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

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 171293,37 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 171293,37 = 342586,75 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.21)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 16381387,37 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 342586,75 (грн.)

$$E_{абс} = III - PV = 16381387,37 - 342586,75 = 16038800,62 \text{ (грн.)}.$$

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

$$E_е = T_{ж} \sqrt{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1, \quad (4.22)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 16038800,62 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 342586,75 (грн.);

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

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 16038800,62/342586,75)^{1/4} = 1,63.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.23)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d=0,1$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,25.

$\tau_{min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 1,63$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (4.24)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,63 = 0,61 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури» становить 40,0 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,16 рази.

Також термін окупності становить 0,61 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 «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури».

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В умовах соціально орієнтованої економіки охорона праці виступає як пріоритетний напрямок державної політики, що поширюється на всі рівні, від державного до рівня окремих підприємств та організацій. Людина стає центральним об'єктом охорони праці, адже саме вона піддається впливу небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища. Інтеграція України до Європейського співтовариства зумовлює зростання уваги до таких аспектів, як безпека людини в різних галузях діяльності, підвищення рівня соціальних стандартів та забезпечення гідних умов праці. Важливо зазначити, що охорона праці - це не просто набір правил і норм, а комплексна система заходів, спрямованих на забезпечення безпечних та здорових умов праці. Її впровадження потребує системного підходу та спільних зусиль держави, роботодавців та працівників [28].

Під час розробки пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури на працівника, згідно Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла; понижена контрастність; пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Робоче місце монтажника радіоапаратури та приладів включає в себе: одностумбовий стіл; гвинтовий стілець; підвіску для креслення; регульований по висоті і по горизонталі світильник; ящик для відходів; вхід для електропаяльника; вентиляцію; панель для включення контрольно – вимірювальних приладів, на якій є клема заземлення. Верхня кришка столу покривається жароміцним пластиком. При необхідності регулювання температури нагріву електропаяльника робоче місце оснащується автотрансформатором, який встановлюється під стільницею.

Основні характеристики робочого місця:

1. Відповідність виробничому процесу: Робоче місце має бути обладнано всім необхідним для виконання певної роботи, включаючи верстати, інструменти, пристосування, матеріали та інше.

2. Ергономічність. Робоче місце має бути організовано таким чином, щоб воно відповідало анатомічним та фізіологічним особливостям людини, що зменшує втому та ризик травм [29].

3. Безпечність. Робоче місце має відповідати санітарним нормам та правилам охорони праці, щоб забезпечити безпечні умови праці.

4. Естетичність. Робоче місце має бути чистим, охайним та естетично оформленим, що сприяє кращому самопочуттю та мотивації працівників.

Крім того, на робочому місці монтажника радіоапаратури повинні бути:

- Інструкції з охорони праці, які повинні містити правила безпечної роботи з електроінструментом, паяльником, хімічними речовинами та іншими небезпечними факторами.

- Технічна документація, яка містить схеми, креслення та інші технічні дані на радіоапаратуру, яка монтується.

- Засоби індивідуального захисту (окуляри, рукавиці та респіратор тощо).

До монтажних робіт допускаються особи, які мають спеціальну підготовку, пройшли медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки. Працівник, який виконує монтажні роботи повинен:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку;
- користуватись спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту;
- пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та відповідальність за колег по роботі;
- вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим при нещасних випадках;
- вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння;
- не виконувати вказівок, які суперечать правилам охорони праці;
- виконувати тільки ту роботу, яка доручена керівництвом та по якій проінструктований.

Рациональне розташування інструментів сприяє правильному плануванню робочого місця, усуненню зайвих рухів, зменшенню стомлюваності, що скорочує втрати робочого часу і збільшує, таким чином, продуктивність праці.

5.1.2 Електробезпека приміщення

Електробезпека приміщення забезпечується відповідно до ПУЕ. Основними причини ураження працівника в процесі розробки пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури можуть бути:

1. Дотик до металевих неструмоведучих частин (корпусу, периферії комп'ютера), які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції [30].

2. Нерегламентоване використання електричних приладів.

3. Відсутність інструктажу співробітників за правилами електробезпеки.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила

захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;

- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам ПУЕ до переносних електропроводок;

- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;

- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

- підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

- використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

При роботі з напівпровідниковими приладами та мікросхемами необхідно пам'ятати, що повинні бути заземлені: руки радіомонтажника, корпус (жало) електропаяльника, корпус напівавтоматичних та автоматичних установок, призначених для монтажу напівпровідникових приладів і мікросхем; корпус вимірювальної та іншої апаратури. Всі не під'єднанні до лінії заземлення предмети (інструменти, малогабаритні прилади, комплектуючі вироби в металевій антистатичній тарі або без неї і пр.) повинні розташовуватися на заземленій металевій пластині робочого столу

Дотримання електробезпеки у приміщенні, де здійснювалася розробка пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури, важливе для запобігання ураженню електричним струмом, що досягається різними способами і заходами:

1. Технічні засоби захисту, такі як ізоляція струмоведучих частин комп'ютерів та периферійних пристроїв, що виключає можливість випадкового дотику до них.
2. Захисне заземлення для металевих неструмоведучих частин, що можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції. Заземлення забезпечує

відведення надлишкового струму у землю, запобігаючи ураженню людини.

3. Організаційні заходи, такі як інструктаж і навчання працівників правилам безпеки при роботі з електронікою. Це включає у себе інформування про потенційні ризики та навчання, як уникати їх.
4. Перевірка знань та дотримання правил безпеки, залежно від займаної посади та характеру роботи, є також важливим аспектом організаційних заходів.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Для розробки пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури було проведено теоретичне обґрунтування його будови та аналіз параметрів за допомогою ПК та відповідного програмного забезпечення. На цьому етапі також важливо врахувати технічні аспекти гігієни праці та виробничої санітарії [32].

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень відіграє важливу роль у забезпеченні комфорту та працездатності працівників. Він впливає на їхнє самопочуття, працездатність та здоров'я. До основних параметрів мікроклімату належать:

1. Температура повітря, яка повинна знаходитися в оптимальному діапазоні, який зазвичай становить 18-22°C. Занадто висока або занадто низька температура може призвести до дискомфорту та зниження працездатності.

2. Відносна вологість. Її рівень повинен бути в межах 40-60%. Занадто висока вологість може спричинити відчуття задухи та втоми, а занадто низька - сухість слизових оболонок.

3. Швидкість руху повітря: Вона не повинна перевищувати 0,5 м/с. Занадто швидкий рух повітря може призвести до простуди та інших захворювань

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Категорія виконуваних робіт під час розробки пристрою корекції

коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури – 1а (табл.5.1) [33].

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Параметр мікроклімату	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні	21 ... 25 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	до 0,1 м / с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	22 ... 28 ° С
	Відносна вологість	40 ... 60%
	Швидкість руху повітря	0,1 ... 0,2 м / с

Для підтримання у виробничих приміщеннях необхідних параметрів мікроклімату використовують загальну систему опалення та систему вентиляції. На кожну вентиляційну установку складений паспорт з технічною характеристикою та схемою установки.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

Повітря, яким ми дихаємо, має неабиякий вплив на наше життя. Його фізичні та хімічні характеристики можуть суттєво впливати на здоров'я та комфорт працівників. Неприятливе повітряне середовище може мати негативні наслідки, такі як: зниження працездатності (працівники, які відчують дискомфорт, не можуть працювати так само ефективно, як у сприятливих умовах), погіршення здоров'я (шкідливе повітряне середовище може призвести до загострення хронічних захворювань, а також до виникнення нових) та збільшення травматизму. Забезпечення належних умов мікроклімату та контроль якості повітряного середовища є основними завданнями для забезпечення здоров'я та безпеки на робочому місці. ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [34], які можуть знаходитися знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Оксид азоту	5	2	3
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	25	10	4
Озон	0,16	0,03	1

Під час роботи на ПК важливо, щоб повітря мало певний іонний склад. Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі приміщень з ПК мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл.5.3).

Таблиця 5.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

5.2.3 Виробниче освітлення

Для забезпечення оптимальних умов зорової праці, запобігання швидкій втомі очей та уникнення професійних захворювань, а також для підвищення продуктивності, важливо, щоб виробниче освітлення відповідало наступним критеріям: забезпечення потрібного рівня освітленості на робочій поверхні, який відповідає характеру зорової роботи і не опускається нижче встановлених норм; уникнення сліпучого світла від джерел освітлення та інших об'єктів у полі зору; забезпечення сталого та однорідного рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути постійної переадаптації очей; запобігання виникненню глибоких і різких тіней на робочій поверхні, особливо тих, що

можуть змінюватися під час роботи; забезпечення достатнього контрасту між освітленою поверхнею та робочим об'єктом для зручного розрізнення деталей; забезпечення надійності та простоти обслуговування системи освітлення, а також врахування економічних і естетичних аспектів.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО при природному та сумісному освітленні (характеристика зорової роботи – дуже високої точності згідно з ДБН В.2.5-28:2018 [35] «Природне і штучне освітлення») зазначені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для оптимізації використання природного освітлення в приміщенні необхідно систематично очищати вікна від пилу та встановити жалюзі. Важливо також переконатися, що віконні прорізи не затемнюються будь-якими іншими будівлями чи об'єктами, що можуть перекривати світло. Як джерела світла для штучного освітлення в приміщенні використовують люмінесцентні лампи. Важливо, щоб світильники були розташовані ефективно та рівномірно, щоб

забезпечити оптимальну освітленість на робочих поверхнях та у всьому приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Шум впливає на організм людини не лише через безпосереднє подразнення слухового апарату, а також за допомогою впливу на центральну нервову систему, що може призводити до різних порушень у роботі різних систем організму. Ефекти впливу шуму на людський організм можна умовно розділити на дві групи: специфічні, пов'язані з впливом шуму на органи слуху, і загальні (неспецифічні), які виникають у різних органах і системах організму, крім слухового апарату. Основним джерелом шуму в приміщенні, де проводиться розробка пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури, є працююча офісна техніка. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.037-99 [36](табл.5.5).

Таблиця 5.5 - Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових	107	95	87	82	78	75	73	71	69

На робочому місці рівень шуму є нижчим за нормований. При появі значного рівня шуму доцільним є використання шумоізолюючих матеріалів в інтер'єрі (меблі та обробка приміщень звукоізоляційними матеріалами можуть допомогти знизити внутрішні відбиття звуку), оптимізація розташування робочих місць (віддалено від джерел шуму або використання перегородок для виділення тих зон, де шум може бути більшим), а також дотримання раціонального режиму праці та відпочинку.

5.2.5 Виробничі випромінювання

Джерелами змінних електричних і магнітних полів у комп'ютері є компоненти у яких присутні високі змінна напруга та великі струми. Рівні електромагнітних полів визначаються за електричними параметрами та магнітною індукцією і регулюються чинними нормами України, зокрема Державним санітарними правилами та нормами ДСанПіН 3.3.2.007-98 [37], а також європейським стандартом MPR II, відомим як «шведський стандарт». Також ці діапазони розглядаються в універсальному рекомендаційному стандарті ТСО'99. У разі некоректної організації живлення робочого місця джерелами електричних і магнітних полів можуть бути не лише монітор комп'ютера, блок живлення системної одиниці та мережеві кабелі, але й периферійні пристрої.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях із ПК (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих (табл.5.6).

Таблиця 5.6 – Допустимі параметри електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

Для забезпечення захисту і досягнення нормованих рівнів комп'ютерних випромінювань необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту очей та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат. Для зменшення впливу

ЕМП на працівника необхідно дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку, встановленого нормативними вимогами.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Оцінка психофізіологічних факторів під час розробки пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Робоча поза: періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни;

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6 год.

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним

за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Приміщення, де проводилася розробка пристрою для корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури, розташоване у будівлі, оснащій індивідуальною системою опалення, яка функціонує на альтернативному паливі, такому як паливні брикети (пелети), сприяючи екологічності та енергоефективності роботи лабораторій. Цей підхід сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище і забезпечує надійне та стабільне опалення будівлі, де розташований науковий центр.

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для пилоповітряної суміші виконується для котельного приміщення обладнаного двома котлами BRS 600 COMFORT BM на основі таких вихідних даних [38]:

- речовина – деревний горючий пил від пелет;
- розміри приміщення $l=8$ м, $d=4$ м, $h=4$ м;
- розрахункова температура $t_p=24$ °C;
- об'єм апаратів – $V=0,56$ м³;
- витрата твердого палива – $q=0,000046$ м³·с⁻¹.

Густина повітря при розрахунковій температурі t_m , кг·м³, визначається

$$\rho_n = \frac{M}{V_0(1 + 0,00367t_p)} = \frac{29}{22,413(1 + 0,0036 \cdot 24)} = 1,19 \text{ (кг/м}^3\text{)}$$

де: $M = 29$ – середня молярна маса повітря при 0° , $\text{кг} \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

V_0 – мольний об'єм, що дорівнює $22,413 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$;

t_p – розрахункова температура,

$^\circ\text{C}$ (максимально можлива температура повітря в даному приміщенні).

З врахуванням того, що в стан пилу може переходити до 2% палива, маса пилу, що осідає на важкодоступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між генеральними прибираннями

$$m_1 = 0,25 \cdot 0,000046 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,02 = 0,14 \text{ кг.}$$

Маса пилу, що осідає на доступних для прибирання поверхнях у приміщенні за період часу між поточними прибираннями

$$m_2 = 0,75 \cdot 0,000046 \cdot 7 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,02 = 0,42 \text{ кг.}$$

Масу пилу, що відклався у приміщенні до моменту аварії, визначають за формулою

$$m_n = K_g \cdot (1 - K_{np}) \cdot (m_1 + m_2), (\text{кг})$$

$$m_n = 0,09 \cdot (1 - 0) \cdot (0,14 + 0,42) = 0,05, (\text{кг})$$

де $K_g = 0,09$ - частка горючого пилу в загальній масі відкладень пилу;

K_{np} – коефіцієнт ефективності прибирання пилу, який приймається у разі прибирання пилу вручну: у разі сухого прибирання – 0,6, розрахунок проведемо за умови максимального забруднення приміщення – $K_{np} = 0$.

Розрахункову масу пилу, що перейшов у стан аерозолі, m_{zg} визначають за формулою

$$m_{zg} = K_{zg} \cdot m_n,$$

$$m_{zg} = 0,9 \cdot 0,05 = 0,045 (\text{кг})$$

де K_{zg} – частка пилу, що відклався у приміщенні, яка здатна перейти у стан аерозолі результаті аварійної ситуації. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення K_{zg} , допускається приймати $K_{zg} = 0,9$.

Маса горючого пилу, що викидається до приміщення з апарата в момент

аварії

$$m_{ап} = V \cdot n \cdot \rho_v = 0,56 \cdot 0,02 \cdot 750 = 8,4 \text{ (кг)},$$

де $n = 0,02$ – частина палива в котлі, що знаходиться в пилоподібному стані;

$\rho_v = 750 \text{ кг/м}^3$ – густина деревного палива, кг/м^3 .

Розрахункову масу пилу, що потрапила до приміщення з апарата або технологічного обладнання в результаті аварійної ситуації, $m_{ав}$, визначають за формулою

$$m_{ав} = (m_{ап} + q \cdot \tau) \cdot K_{п},$$

$$m_{ав} = (8,4 + 0,000046 \cdot 30) \cdot 1 = 8,405 \text{ (кг)}$$

де $q = 0,0023$ – витрати, з якими продовжують надходити пилоподібні речовини до аварійного апарата по трубопроводах до моменту їх перекривання, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

$\tau = 30$ – час перекривання, який визначається за паспортними даними обладнання, с;

$K_{п}$ – коефіцієнт пилення, що представляє собою відношення маси пилу у стані аерозолю до усієї маси пилу, який надійшов з апарата до приміщення. У разі відсутності експериментальних даних щодо значення $K_{п}$, допускається приймати: для пилу з дисперсністю менше ніж 350 мкм $K_{п} = 1,0$.

Розрахункову масу пилу, що знаходиться у стані аерозолю в об'ємі приміщення в результаті аварійної ситуації, m , кг, визначають за формулою

$$m = m_{зв} + m_{ав},$$

Тому розрахункова маса пилу, що потрапила до приміщення з апарата або технологічного обладнання в результаті аварійної ситуації складатиме

$$m = 0,045 + 8,405 = 8,45 \text{ (кг)}$$

Інтенсивність теплового випромінювання розраховуємо для пожежі «вогненна куля».

Ефективний діаметр «вогняної кулі» D_s , м, визначаємо за формулою

$$D_s = 5,33 m^{0,327} = 5,33 \cdot 8,45^{0,327} = 10,71 \text{ (м)}.$$

Висоту центра «вогняної кулі» визначаємо

$$H = D_s/2 = 10,71/2 = 5,35 \text{ (м)}.$$

Час існування «вогняної кулі» t_s , с, визначаємо за формулою

$$t_s = 0,92 m^{0,303} = 0,92 \cdot 8,45^{0,303} = 1,76 \text{ (с)}.$$

Відстань від зовнішніх меж кулі до точки на поверхні землі безпосередньо під центром «вогняної кулі»

$$r = \sqrt{D_s^2 + H^2} = \sqrt{10,71^2 + 5,35^2} = 12 \text{ (м)}$$

Коефіцієнт пропускання теплового випромінювання крізь атмосферу ψ розраховуємо за формулою

$$\begin{aligned} \psi &= \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2) \right] \\ &= \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} (\sqrt{12^2 + 5,35^2} - 10,71/2) \right] = 0,97 \end{aligned}$$

Кутовий коефіцієнт опромінення

$$\begin{aligned} F_q &= \frac{H/D_s + 0,5}{4 \cdot \left[\left(H/D_s + 0,5 \right)^2 + (r/D_s)^2 \right]^{1,5}} \\ &= \frac{5,35/10,71 + 0,5}{4 \cdot \left[\left(5,35/10,71 + 0,5 \right)^2 + (12/10,71)^2 \right]^{1,5}} = 0,0738 \end{aligned}$$

Інтенсивність теплового випромінювання обчислюємо за формулою

$$q = E_f F_q \psi = 450 \cdot 0,0738 \cdot 0,97 = 32,2 \text{ (кВт} \cdot \text{м}^{-2}\text{)},$$

де E_f – середньоповерхнева густина теплового потоку випромінювання полум'я, кВт·м⁻², величину E_f приймаємо рівною 450 кВт·м⁻².

Надлишковий тиск вибуху ΔP , кПа, для індивідуальних горючих речовин, які складаються з атомів горючого пилу визначається за формулою

$$\Delta P = \frac{m \cdot H_f \cdot P_o \cdot Z}{V_{\text{вільн}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_p \cdot T_o} \cdot \frac{1}{K_H},$$

$$\Delta P = \frac{8,45 \cdot 15500 \cdot 101 \cdot 0,5}{136 \cdot 1,19 \cdot 1,01 \cdot 10^3 \cdot 298} \cdot \frac{1}{3} = 0,05 (\text{кПа})$$

де m – маса пилу, що потрапив в результаті розрахункової аварії до приміщення,

$H_f = 15500$ - теплота згоряння, кДж·кг⁻¹;

P_o - початковий тиск, кПа (допускається приймати таким, що дорівнює 101 кПа);

Z – коефіцієнт участі ГГ або парів у вибуху, який може бути розрахований на підставі характеру розподілення газів і парів в об'ємі приміщення згідно з додатком;

$V_{\text{вільн}}$ – вільний об'єм приміщення, м³;

$\rho_{\text{п}}$ – густина повітря до вибуху при початковій температурі T_o , кг·м⁻³;

C_p – теплоємність повітря, Дж·кг⁻¹·К⁻¹ (допускається приймати рівною $1,01 \cdot 10^3$ Дж·кг⁻¹·К⁻¹);

T_o – початкова температура повітря,

K_H – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й неадіабатичність процесу горіння (приймається $K_H = 3$)

Таким чином, за розрахунками параметрів вибуху пило-повітряної суміші в разі виникнення умовної аварії можна зробити такі висновки:

– очікувана величина надлишкового тиску ударної хвилі становить:
 $\Delta P_{\text{ф.макс}} = 0,05$ кПа;

– внаслідок дії ударної хвилі можливі слабкі склінь, руйнування деяких видів обладнання;

– для підвищення стійкості приміщення та обладнання до дії ударної хвилі необхідно підсилити основні конструкції та збільшити площу конструкцій, що легко руйнуються;

– за розрахованих інтенсивності та тривалості теплового випромінювання можна зробити висновок, що займання речовин та матеріалів в приміщенні не відбудеться, можливе лиш незначне їх обвуглення.

ВИСНОВКИ

На підставі розрахунків і порівняння техніко-економічних параметрів нової розробки і аналога, можна стверджувати, що нове технічне рішення, яке запропоноване для розроблення, матиме кращі технічні показники, ніж існуючі, вирішить задачу забезпечення корекції коефіцієнта потужності з вищим рівнем, забезпечить кращу стабільність вихідної імпульсної напруги і коефіцієнта корисної дії, що є ефективнішим в порівнянні з аналогами, і тому розробка нового технічного рішення пристрою коректора коефіцієнта потужності є актуальною та доцільною.

Для конструкції була обрана двостороння друкована плата, яка характеризується високою якістю комутації та підвищеною міцністю зв'язку між виводом навісних елементів і малюнком плати. Матеріалом друкованої плати була склотекстолітова фольга СФ-2-35-1,5 ТУ ТУ16-503.271-86, оскільки матеріал друкованої плати повинен мати добру технологічність, високі електрофізичні властивості та високу адгезію. Вдається мінімізувати розмір пристрою і досягти оптимального розміщення компонентів в корпусі. Виявилося, що найкраща конструкція пристрою – друга. Плата розміщена в алюмінієвому корпусі, що забезпечує легку конструкцію. Має вирізи для вентиляції та розетки-вимикачі. Розрахункова вага пристрою 0,230 кг, що не перевищує ліміту ТЗ. Крім цих розрахунків також наводиться вібро- і шумозахищеність конструкції. Всі конструктивні рішення підтверджені розрахунками.

В технологічній частині магістерської кваліфікаційної роботи було розраховано комплексний показник технологічності, який дорівнює 0,84, при порівнянні коефіцієнтів виявилось, що технологічність є достатньою і не потребує заходів для підвищення.

У роботі запропонована електрична схема пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури. Здійснений аналіз вимог до конструкції пристрою. Здійснено компонування пристрою та розроблена друкована плата. Отримані результати схемотехнічного моделювання пристрою корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення

радіоелектронної апаратури в пакеті програм OrCAD. Результати моделювання підтвердили теоретичний принцип роботи пристрою, який полягає в тому, що пристрій забезпечує на виході стабільну постійну напругу живлення 360 В при синусоїдальному споживанні напруги і струму від однофазної мережі побутового струму 220 В і 50 Гц. Це досягається керуючою мікросхемою, яка забезпечує певну тривалість імпульсу при даній напрузі, і чим більше значення напруги тим коротша тривалість імпульсу, яка необхідна для забезпечення необхідного рівня струму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. B. Sharifipour, J. S. Huang, P. Liao, L. Huber, and M. M. Jovanovic, "Manufacturing and cost analysis of power-factor-correction circuits," in Proc. IEEE-APEC'98, Annu. Meeting, vol. 1, 1998, pp. 490-494.
2. Zheren Lai, Keyue Ma Smedley, "A Family of Continuous-Conduction-Mode Power-Factor-Correction Controllers Based on the General Pulse-Width Modulator", IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 13, no.3, May 1998, pp. 501-510.
3. М. І. Хіль. Підвищення якості імпульсних джерел живлення РЕА. / М. І. Хіль, Д. Г. Єгоров, О. В. Шевченко Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля №17(188) – 2012. – С. 228-233.
4. С. М. Цирульник. Метод оперативного тестування імпульсних трансформаторів комп'ютерної техніки / С. М. Цирульник, Б. Андерсон, В. І. Роптанов //Вінницький національний технічний університет. 2018.
5. О. Д. Майданський. Імпульсний лабораторний блок живлення на базі мікросхеми TL494 із стабілізацією струму та напруги. / О. Д. Майданський Д. П. Проценко // Вінницький національний технічний університет. 2018.
6. 18.The basics of active power factor correction [Електроний ресурс] / LAZAR's power factor correction guide – 2013, 2017 Lazar Rozenblat. All rights reserved. Режим доступу: <http://www.powerfactor.us/active.html>
7. Texas Instruments [Електроний ресурс] / TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits. Режим доступу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl494.pdf>
8. Мироненко П.С. Стенд для перевірки працездатності низькочастотних інерціальних модулів / П.С. Мироненко, О.М. Павловський // Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Приладобудування» - 2018.-№56 (2), с. 7-13
9. Мироненко П.С. Комплекс спеціалізованого стендового обладнання для контролю характеристик низькочастотних акселерометрів / П.С. Мироненко, О.М. Павловський // Вісник НТУУ «КПІ» Серія «Приладобудування» - 2019.- №57 (21), с. 14-19

10. Платов І.М. Порівняння можливостей C/C++ компіляторів для вирішення інженерних / І.М. Платов , О.М. Павловський // Вісник інженерної академії України.-2018.-№4-С. 65-69

11. О.М. Павловський Переваги використання відладочних плат Stm32discovery у навчальному процесі на кафедрі ПСОН/ І.М. Платов , О.М. Павловський // XI всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ», 15-16 травня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна.-С.49-52.

12. Maisheng Ms3010[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ozon.ru/product/laboratornyy-blok-pitaniyaistochnik-pitaniya-maisheng-ms3010d-30-v-10-a-246977622/>

13. UNI-T UTP3305 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.unitrend.com/html/product/gongye/thi/UTP3300_Series/UTP3305.html

14. MCH K305D [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.parkflyer.ru/ru/product/1565191/>

15. NPS605W [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.amazon.com/KKmoon-Switching-PrecisionAdjustable-Regulated/dp/B07TLLYVFP>

16. Мікроконтролер [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мікроконтролер>

17. Arduino Uno [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all-arduino.ru/product/arduino-uno>

18. Модуль ADS1115 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod2118-16-bit-4-kanala-i2c-acp>

19. Характеристики PCF8574 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://3v3.com.ua/product_7395.html

20. Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>

21. Характеристики Arduino Nano [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduinomaster.ru/platy-arduino/plata-arduino-nano/>

22. АЦП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mymcu.ru/articles/kak-rabotayut-analogo-tsifrovie-preobrazovateli-chtomozhno-uznat-iz-spetsifikatsii-na-atsp.html>

23. Елементна база радіоелектронної апаратури: Пасивні радіокомпоненти В 4 ч. Ч.1. [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: В.О.Піддубний, І.О.Товкач. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,05 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 98 с

24. Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем: Навч. посіб. для студ. приладобудів. профілю / С. Т. Барась, Р. Ф. Лободзінська, О. О. Лазарев; Вінниц. нац. техн. ун-т. - Вінниця : ВНТУ, 2004. - 82 с.

25. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Основи САПР та системного проектування складних об'єктів: Підручник / За ред.В.І. Бикова.- К.: Либідь, 2003.- 272с.

26. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

27. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепка – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

28. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

29. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

30. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

31. ДСан ПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>

32. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс] – Режим доступу до сторінки: http://hrliga.com/index.php?module=norm_base&op=view&id=819

34. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

35. СанПіН 2.2.4.1294-03 «Фізичні фактори виробничого середовища. Гігієнічні вимоги до аероіонного складу повітря виробничих і громадських приміщень» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ionization.ru/issue/iss5.htm>

36. СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля у виробничих умовах» - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.vrednost.ru/2241191-03.php>

37. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

38. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом- [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65395

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ПРИСТРІЙ КОРЕКЦІЇ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-22м з/в
спеціальності 172 – Телекомунікації та радіо-
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мізін Г.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

« 06 » 06 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

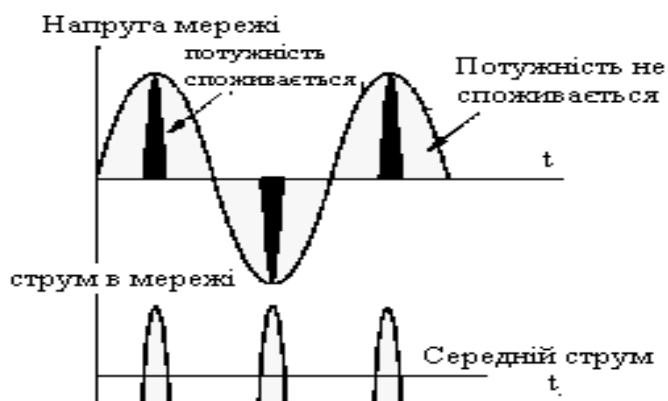


Рисунок 1 – Струм і потужність, які споживаються джерелом живлення без корекції

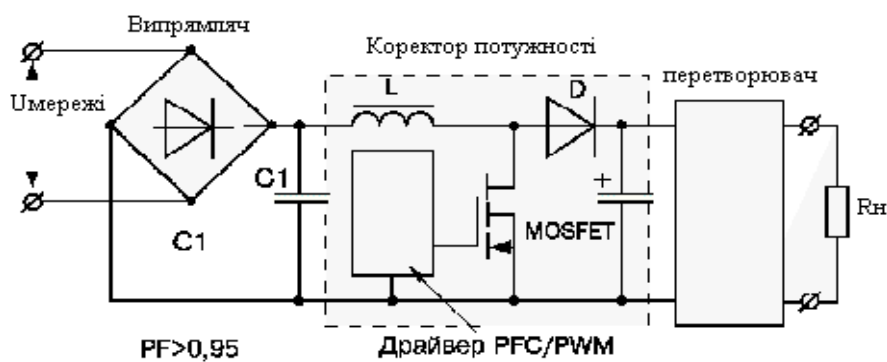


Рисунок 2 – Спрощена схема «перетворювача з підвищенням»

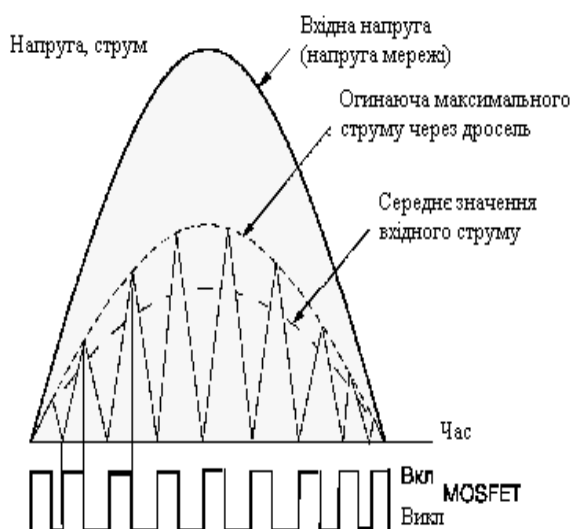
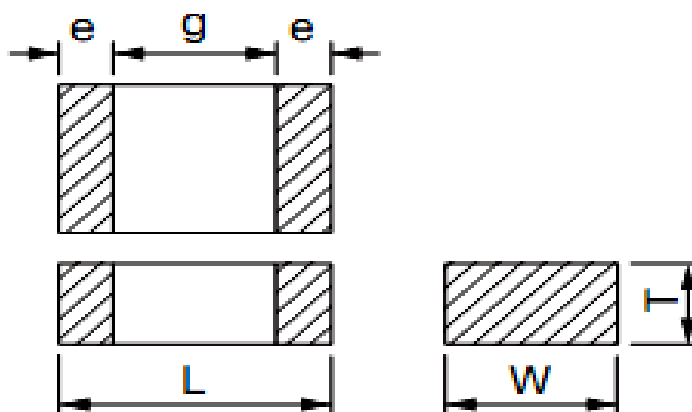
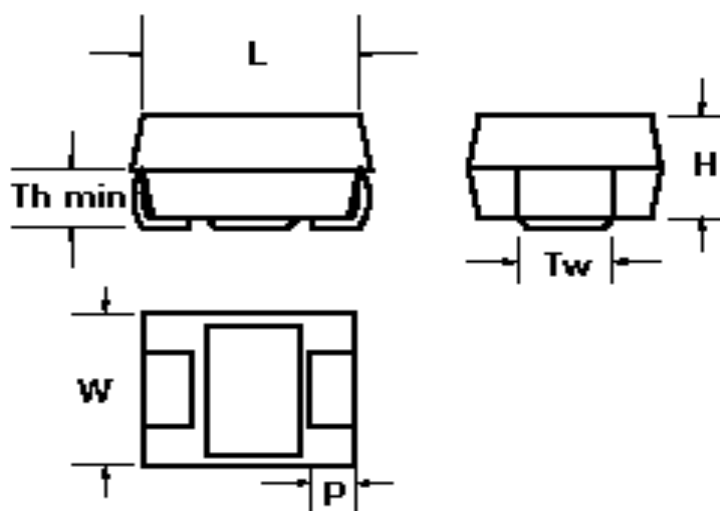


Рисунок 3 – Часові діаграми роботи коректора коефіцієнта потужності



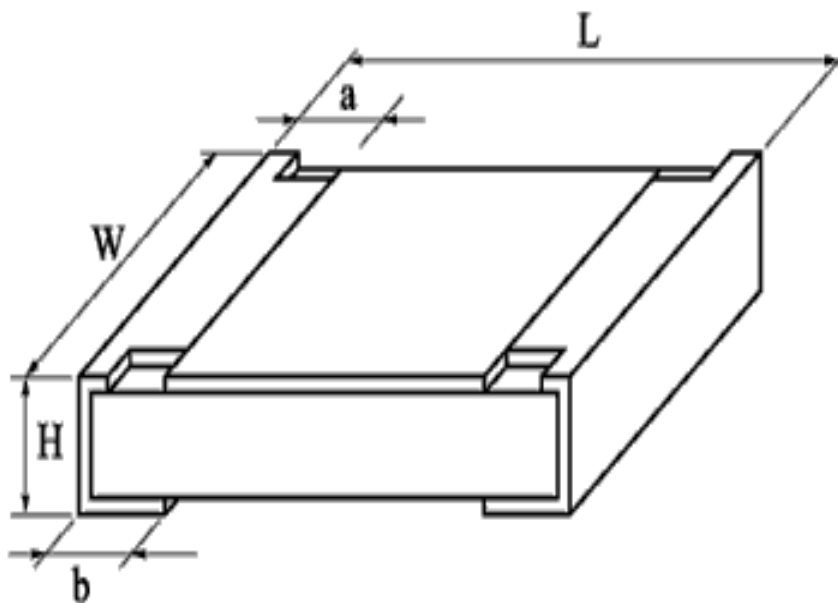
Типорозмір	Розміри, мм				
	L	W	Tmax	e	g
0805	2	1.25	1.25	0.7	0.7

Рисунок 4 – Конденсатори керамічні типорозміру 0805 (C2,3,8,9,11-14)



Розміри, мм					
L	W	H	P	Tw	Th min
7.3	4.3	1.8	1.3	1.4	1

Рисунок 5 – Танталові чіп-конденсатори (C10,16,17)



Типорозмір	Розміри, мм				
	L	W	H	a	b
0805	2	1.25	0.6	0.4	0.4
1206	3,2	1,6	0,6	0,5	0,5

Рисунок 6 – Чіп-резистори P1-12: типорозмір 0805 (R1-3,15-33)
типорозмір 1206 (R4-14)

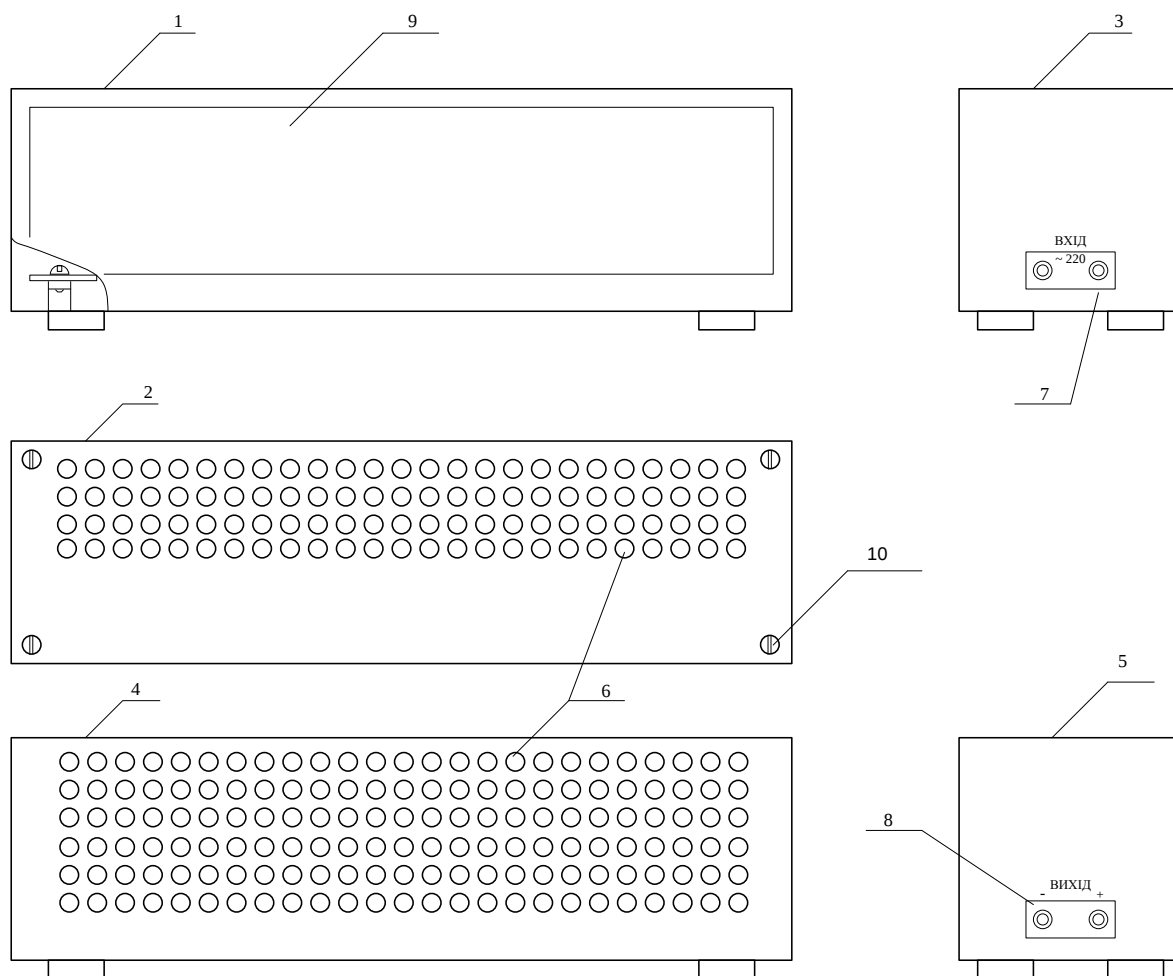


Рисунок 7 – Перший і другий варіант компоновки конструкції корпусу

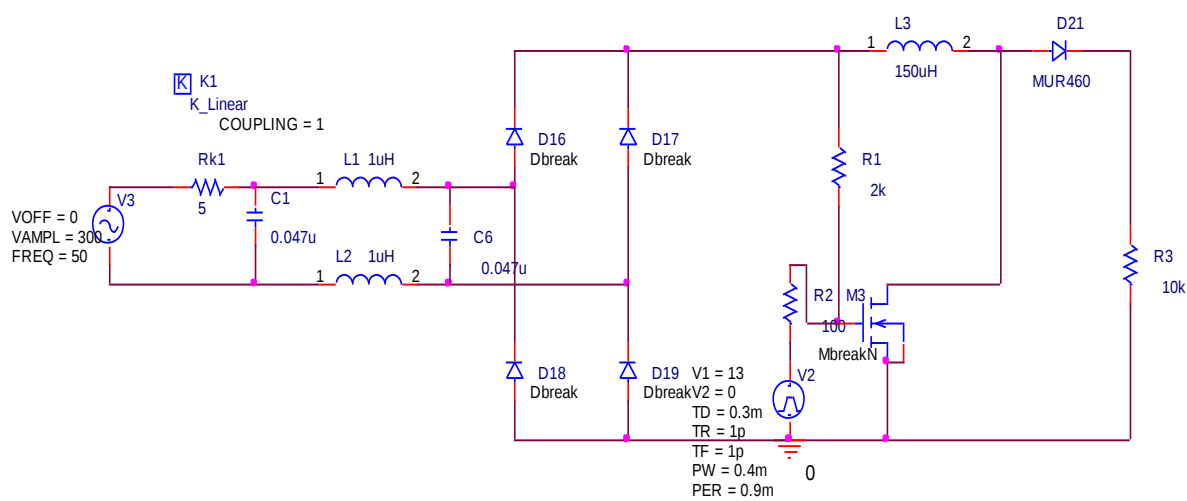


Рисунок 8 – Спрощена схема моделювання пристрою коректора коефіцієнта потужності

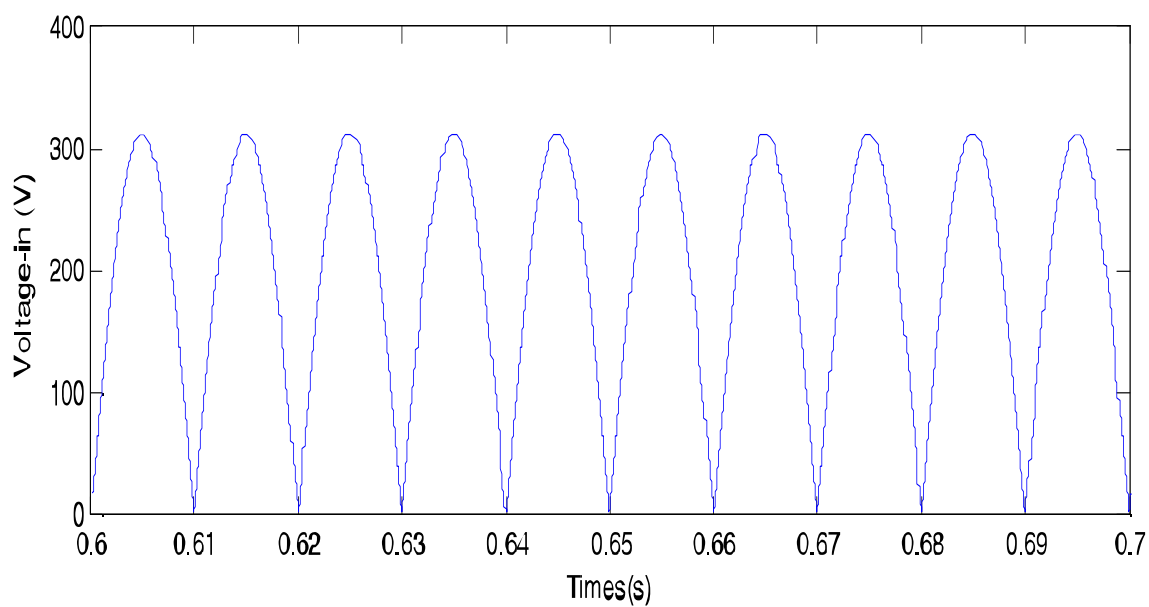


Рисунок 9 – Напруга після випрямного моста

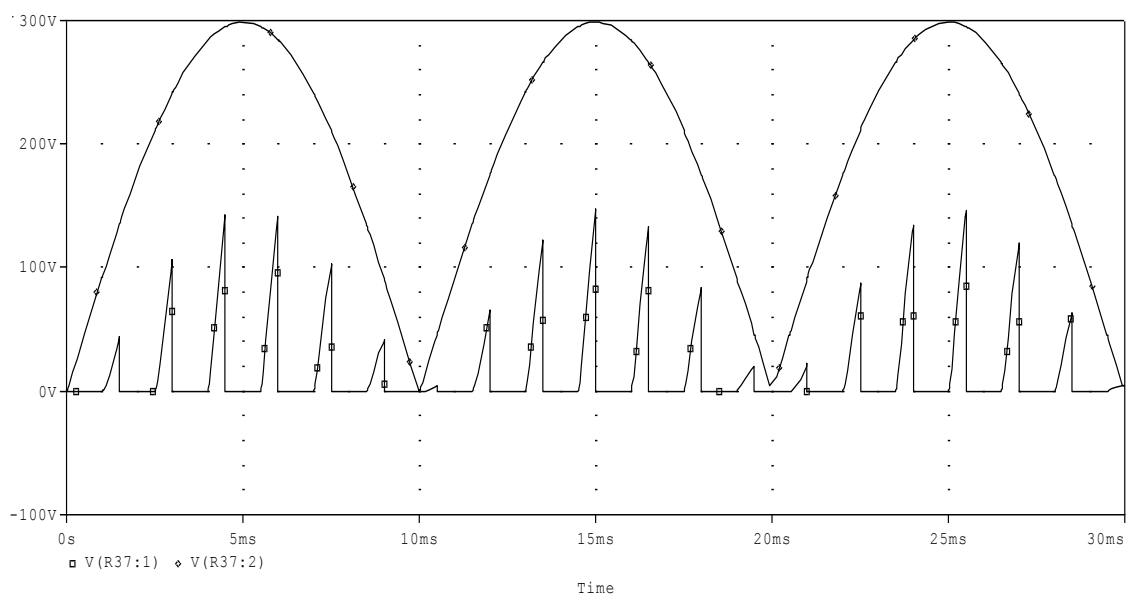


Рисунок 10 – Вхідна випрямлена напруга й імпульси стоку транзистора

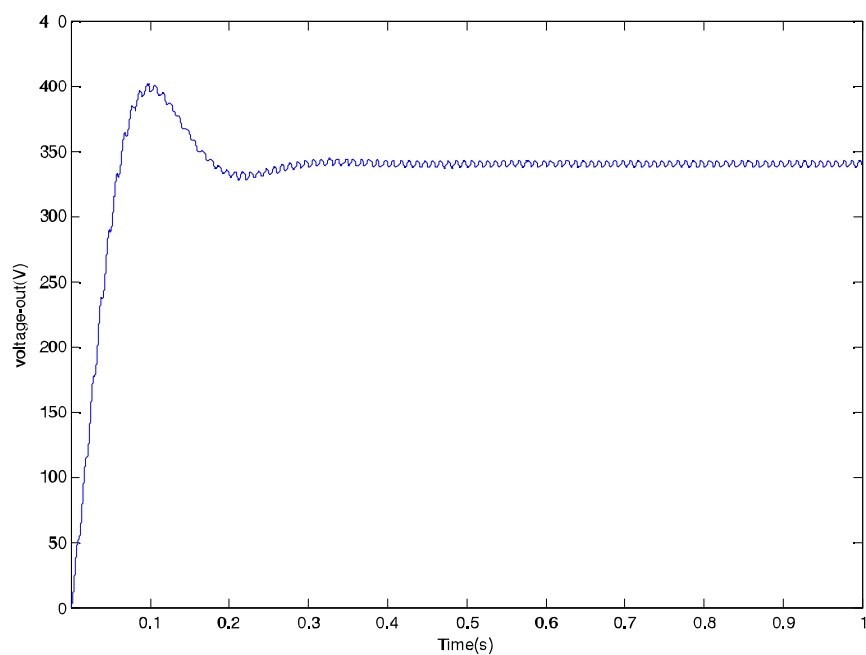


Рисунок 11 – Вихідна напруга схеми

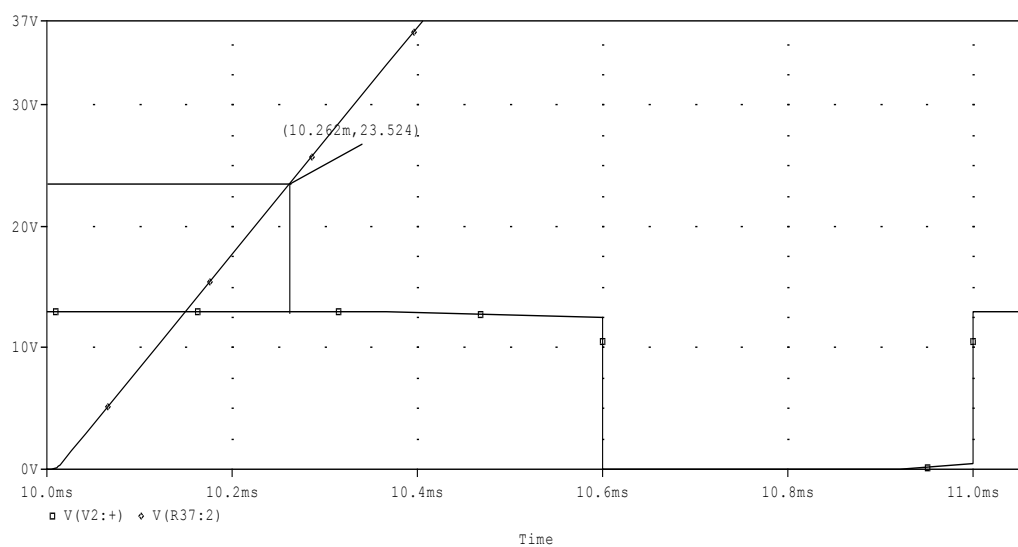


Рисунок 12 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,8мс при значенні напруги 23,5 В

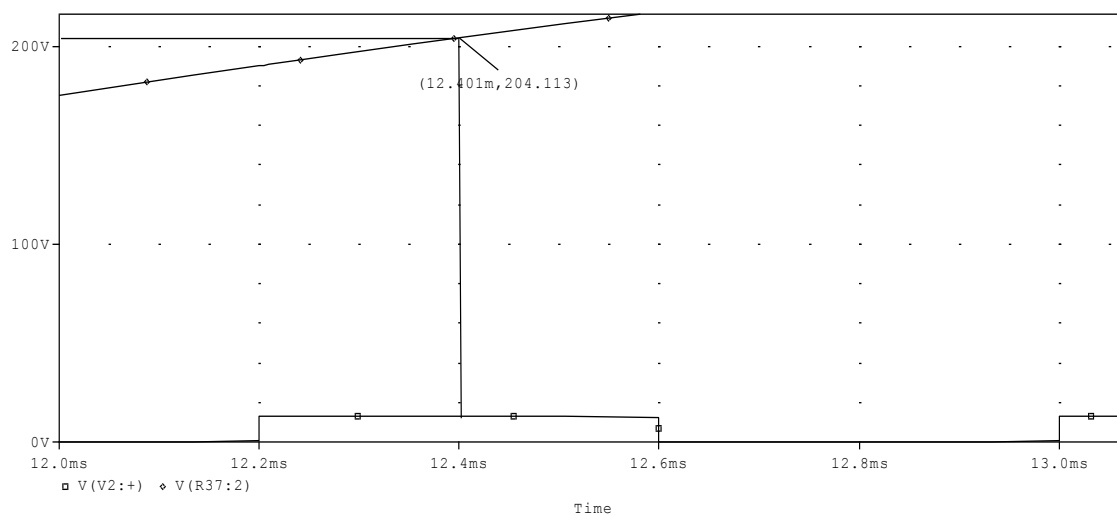


Рисунок 13 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,4мс при значенні напруги 204 В

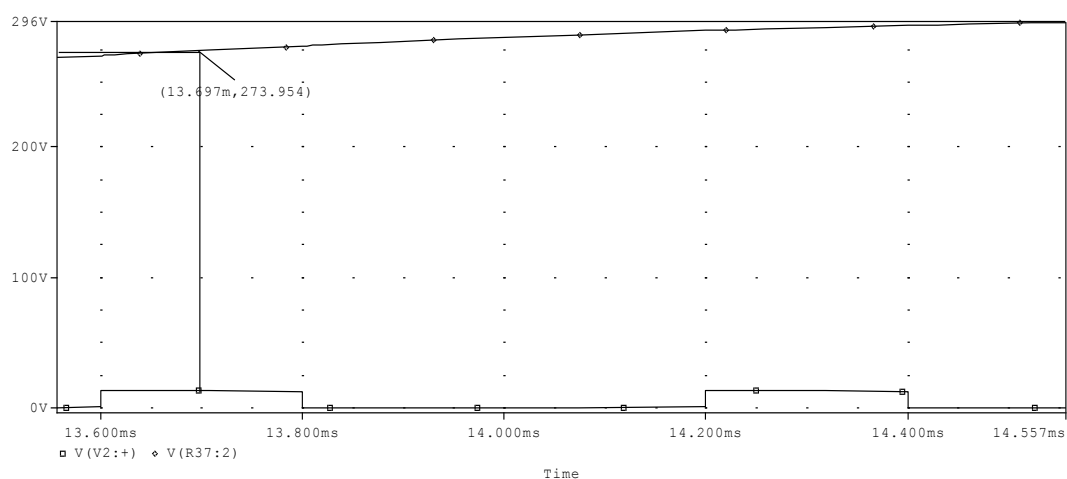


Рисунок 14 – Керуючі імпульси мікросхеми тривалістю 0,2мс при значенні

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**ПРИСТРІЙ КОРЕКЦІЇ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ
ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ**

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Пристрій корекції коефіцієнта корисної дії електроживлення радіоелектронної апаратури»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 86,1% Схожість 13,9%

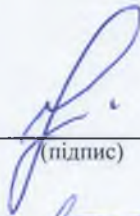
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 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.

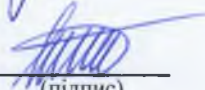
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Олександр ЗВЯГІН
(прізвище, ініціали)

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

Автор роботи 
(підпис)

Григорій МІЗИН
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи 
(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)