

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
(м. Київ)

Факультет інформаційних технологій та електроніки
(повне найменування факультету)

Кафедра електронних апаратів
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломного проекту

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальності 171 – Електроніка
(шифр і назва спеціальності)

на тему Прилад боротьби з хворобою бджіл

Виконав: студент групи Ел-20д

Полтавський І. А.
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Керівник Паєранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри Паєранд Ю.Е.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Самойлова Ж. Г.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Київ – 2024

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

(м. Київ)

Факультет _____ інформаційних технологій та електроніки _____

Кафедра _____ електронних апаратів _____

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ бакалавр _____
(бакалавр, спеціаліст, магістр)Спеціальність _____ 171 – Електроніка _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.Е. Паєранд
“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____ Полтавському Івану Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи _____ Прилад боротьби з хворобою бджіл _____керівник проекту _____ Паєранд Юрій Едуардович, к.т.н., _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____ 31.05.2024 _____3. Вихідні дані до роботи _____ Матеріали переддипломної практики _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналітичний огляд

2) Розробка електричної схеми та вибір елементної бази приладу

3) Моделювання роботи приладу для боротьби з хворобою бджіл

4) Розробка конструкції друкованої плати

5) Розрахунок теплового режиму та надійності приладу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Дата видачі завдання 11.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний огляд	11.03.24 – 28.03.24	
2	Розробка структурної, електричної схеми та вибір елементної бази приладу	29.03.24 – 10.04.24	
3	Моделювання роботи приладу	11.04.24 - 15.04.24	
4	Розробка конструкції друкованої плати	16.04.24 – 01.05.24	
5	Розрахунок теплового режиму та надійності приладу	02.05.24 – 15.05.24	
6	Оформлення і перевірка пояснювальної записки	16.05.24 – 31.05.24	

Студент Полтавський І. А.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Паєранд Ю.Е.

(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 64 сторінок, 39 рисунків, 25 таблиць, 15 джерел.

Об'єктом проектування є електронний пристрій для боротьби з хворобою бджіл.

Мета роботи – розробка пристрою, який призначений для боротьби з кліщем вароа.

В процесі роботи проведені розробка структурної та принципової схем, промодельовано роботу приладу, розроблена конструкція друкованої плати та вузла, проведений розрахунок теплового режиму та надійності приладу.

ПРИЛАД, МІКРОСХЕМА, ІМПУЛЬС, ШІМ-КОНТРОЛЛЕР, ДРУКОВАНА ПЛАТА, МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК, ПОСИЛЮВАЧ, НАДІЙНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	9
1.1 Актуальність та способи боротьби з кліщем вароа	9
1.2 Огляд існуючих рішень.....	10
1.3 Вимоги від пристрою.....	14
1.4 Призначення та область застосування апарату.....	14
1.5 Переваги пристрою.....	15
1.6 Висновки	16
2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ЗАХИСТУ БДЖІЛ ВІД ВАРОАТОЗУ.....	18
2.1 Структурна схема	18
2.2 Генератор імпульсів	19
2.3 Посилувач потужності	20
2.4 Акустичний випромінювач.....	22
2.5 Принципова схема	22
2.6 Вибір елементів схеми	24
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИЛАДУ	37
3.1 Моделювання роботи основного елементу пристрою	37
3.2 Дослідження залежності частоти імпульсів від параметрів схеми	39
3.3 Дослідження залежності частоти пакетів імпульсів від параметрів схеми.....	40
3.4 Дослідження повної працездатності пристрою.....	43
4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ.....	47
5 ВИБІР УМОВ ОХОЛОДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ.....	50
6 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ.....	60

ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63

ВСТУП

Бджільництво в Україні - розвинена галузь сільського господарства в країні. Україна займає перше місце в Європі з виробництва меду і третє у світі на 2015 рік [1]. На 2015 рік кількість бджолосімей в країні складає близько 3 млн, а чисельність бджолярів перевищує 400 тис.

Бджільництво стикається з багатьма хворобами, які можуть серйозно вплинути на розвиток бджолиних сімей. У хворих бджільництв спостерігається передчасний відхід дорослих бджіл і зменшення кількості вирощуваного розплоду. Бджолині сім'ї, уражені хворобами, стають слабкими і можуть загинути, якщо не будуть прийняті термінові заходи для їх оздоровлення.

Однією з найбільш небезпечних хвороб для бджільництва є вароатоз. Це інвазійне захворювання, спричинене паразитичними кліщами роду *Varroa*. Кліщі вражають як дорослих бджіл, так і їх розплід, що призводить до ослаблення бджолиних сімей і зниження продуктивності.

Відомі методи боротьби з вароатозом не завжди ефективні та навіть можуть нашкодити бджолам. Однак в даній роботі пропонується використовувати акустичні коливання для боротьби з цією хворобою. Цей метод заснований на впливі звукових хвиль на кліщів, що може допомогти контролювати їх чисельність і уповільнити їх розмноження.

Акустичні коливання можуть стати інноваційним підходом до боротьби з вароатозом, і подальші дослідження в цій галузі можуть призвести до більш ефективних методів захисту бджіл і поліпшення бджільництва.

Вважається, що застосування механічних коливань може мати значний вплив на кліщів вароа, що може бути дуже корисним у боротьбі з цим шкідником. Інноваційний підхід, запропонований у винаході [2], полягає у використанні механічних коливань для створення вібрацій, здатних вплинути на кліщів. Однією з ключових переваг такого методу є його потенційно низьке енергоспоживання. Це означає, що для створення необхідних впливів на кліщів можуть використовуватися джерела енергії низької потужності, такі як сонячні панелі.

Цей аспект представляє особливу цінність для бджолярів, чії пасіки часто розташовуються у віддалених від центру населених пунктів місцях, де доступ до електрики обмежений або відсутній зовсім. Використання малопотужних джерел енергії дозволяє ефективно реалізовувати такі технології на пасіках, забезпечуючи боротьбу з кліщем вароа без необхідності підключення до мережі електропостачання.

Таким чином, застосування акустичних коливань, посиленних за допомогою інноваційних підходів, являє собою перспективне рішення для боротьби з кліщем вароа в умовах українських пасік, де доступ до електроенергії може бути обмежений.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Актуальність та способи боротьби з кліщем вароа

Вароатоз, що викликається кліщем вароа (*Varroa destructor*), є однією з найбільш серйозних проблем для бджільництва по всьому світу. Цей паразит атакує бджіл і є основною причиною втрати бджіл у пасіках.

Джерелом зараження здорових бджіл є хворі бджолині сім'ї та рої, а також зрізаний трутневий розплід [3]. Кліщів розносять бджоли-фуражери та бджоли-злодійки. Крім того, личинки кліща потрапляють у здорові сім'ї під час заміни рамок із бджолиним розплідом. У результаті розмноження кліща вароа перед вуликом часто можна побачити недорозвинених повзаючих бджіл і трутнів, не здатних літати. Що більше кліщів вароа, то більше буде таких бджіл і трутнів. Максимальну кількість кліща у бджолиних сім'ях спостерігають у липні — в період найбільшої чисельності бджіл у сім'ї. Кліщі вароа легко передаються від однієї сім'ї до іншої під час контакту комах на нектароносах, з ураженим розплідом тощо. Сильне ураження бджіл кліщем (вароатоз бджіл) активує інші захворювання, зокрема нозематоз та вірусні паралічі, спричинює розповсюдження на пасіках бактеріальних, грибних та вірусних інфекцій. У країнах Європи критичним рівнем, тобто таким, коли бджоли починають гинути, вважають зараження бджіл кліщем вароа у межах 25%. Визначення відсотка ураження бджолиних сімей кліщем вароа — найважливіша складова заходів з оздоровлення від вароатозу. З бджолиних сімей відбирають проби бджіл і визначають відсоток їхньої закліщеності за стандартними методиками.

Ураження бджіл кліщем понад 3% спричиняє суттєвий їхній відхід і потребує термінового зняття кліща. За рівня ураження бджіл кліщем восени понад 10% не має гарантії їхнього виживання навіть за умови обробки бджіл препаратом від кліща. Якщо в липні ступінь ураження бджіл кліщем становить менше 1%, обробку від кліща можна відкласти до осені, коли буде відкачано мед. Слід зазначити, що за 5–6%-го ураження бджіл кліщем у сім'ях на початку літа до жовтня чисельність кліщів

збільшується у слабких сім'ях до 28%, а у сильних — до 20% (тобто кількість кліща зростає за літо приблизно вчетверо).

Наслідки вароатозу: спад бджіл. Вароатоз призводить до значного зменшення кількості бджіл у пасіках, що негативно впливає на виробництво меду, запилення рослин та екосистему в цілому.

Поширення: кліщ вароа поширений по всьому світу і становить загрозу для бджолярів в різних кліматичних зонах.

Економічні втрати: втрати, пов'язані з вароатозом, включають як прямі збитки від втрати бджіл та меду, так і непрямі економічні наслідки для сільського господарства та екосистем.

У світлі загрози, яку представляє вароатоз, бджолярі по всьому світу активно шукають ефективні способи боротьби з цим шкідником. Існуючі на сьогоднішній методи боротьби: хімічні - використання хімічних препаратів, таких як амітраз, флуметрин і молочна кислота, для обробки пасік; біологічні методи - використання біологічних агентів, таких як *metarizium anisoplie*; механічні засоби, такі як поліпшення вентиляції вуликів та спеціальні пастки для кліщів.

Інтегрований підхід: поєднання різних методів боротьби, таких як хімічні, біологічні та культурні підходи, для максимального ефекту та мінімального впливу на навколишнє середовище.

1.2 Огляд існуючих рішень

Оздоровлення бджіл від вароатозу передбачає передусім зменшення чисельності кліща вароа до безпечного для життя бджіл рівня.

Біологічні методи. Застосування «біологічних пасток», якими є трутневий розплід, уражений кліщем вароа [4]. Трутневий розплід в 7,2–15 разів більше уражується кліщем порівняно з розплідом робочих бджіл. Для цих цілей ідеально послугує рамка-пастка з трутневою вощиною. Відразу після запечаткування комірок рамку з трутневим розплідом видаляють, розпечатують ножем комірки, лялечок із кліщем витрушують на папір. Кліщів знищують, а трутневий розплід можна

використати для лікування та оздоровлення людей і тварин. Рамки з трутневою вощиною ставлять у бджолині сім'ї від кінця травня до середини серпня.

Створення безрозплідних відводків, на яких після противароатозних обробок (лікування бджіл від вароатозу) формують нові пасіки на відстані 5–7 км одна від одної. Метод потребує значних затрат праці і не дає повного видужання бджолиних сімей від вароатозу, а тому не знайшов широкого застосування на практиці. Використання речовин та препаратів природного походження, зокрема рослин з акарицидним ефектом. Апробацію рослин на предмет їхніх противароатозних властивостей здійснюють із моменту появи кліща на медоносній бджолі. Рослини, що містять ефірні олії, подрібнюють та кладуть в мішечках на рамки. Ступінь ураження бджіл кліщем знижувалась: (лікування бджіл від вароатозу) під час лікування бджіл чебрецем — на 63,9%; за згодовування сиропу з відваром собачої кропиви (120 мл/л) — на 63,4, полину (100 мл/л) — на 86,4, перцю (120 мл/л) — на 83% у дозі не менше 6 л на сім'ю. Відвар перцю (120 мл/л сиропу) разом із спиртовим розчином прополісу (20 мл/л 10%-ї концентрації) дав змогу знизити закліщеність бджіл на 91,1%, тобто витяжка з прополісу підсилювала акарицидний ефект відвару з перцю гіркокого.

Фізичні методи. Найбільшого поширення набули термічна обробка бджіл та обпилення бджіл мілкодисперсними речовинами природного походження[5]. Ефект противароатозної термічної обробки бджіл ґрунтується на різній стійкості до підвищених температур бджіл та кліщів, обумовленій різницею в масі тіла паразита та хазяїна. Метод полягає в тому, що бджіл засипають через лійку в спеціальну сітчасту касету, яку поміщають у термокамеру, де бджіл витримують за температури 47°C протягом 15 хв або за температури 45°C — 30 хв. При цьому в камеру має надходити повітря — 0,5 м³/хв. Перед висипанням бджіл у касету матку ізолюють у спеціальну кліточку. Не рекомендують проводити обробку в період активного медозбору чи годівлі бджіл цукровим сиропом. Окрім того, не варто проводити термообробку в безоблітний період. Погано витримують термообробку голодні бджоли. Найкращий для проведення цього заходу час — осінь, коли в сім'ї відсутній розплід. У літній період іноді застосовують також метод змивання водою кліща з бджіл, попередньо зсипаних у касету. Кліщ осипається через 1–2 хв, бджоли при

цьому не гинуть, оскільки можуть перебувати під водою до 30 хв. Такі обробки, вірогідно, можна практикувати як експеримент у безрозплідних відводках за температури не нижче 25°C. Обпилення бджіл мілкодисперсними речовинами природного походження. З цією метою використовують хвойне борошно, цукрову пудру, тальк, крохмаль тощо. Обпудрювання бджіл не дає змоги присоскам кліща нормально закріпитися, і паразит відпадає. На дно вулика кладуть міцний папір, змащений вазеліном, для контролю за кількістю кліща та його життєздатністю. Метод використовують задля отримання якісної продукції, особливо виправданий він для зняття кліща в липні. Інші фізичні методи, такі як застосування іонізуючого випромінювання, ультразвуку, електрофізичного поля, ультрафіолетового та інфрачервоного опромінення тощо, поки що є предметом цікавості лише для дослідників, незважаючи на те, що багато з них показало досить обнадійливі результати. Так, обробка бджіл ультрафіолетовими променями (лампюю Q-400 на відстані 16–34 см від бджіл упродовж 10 хв) підвищувала їхню рухливість, через 17 год гинуло 100% кліщів.

Хімічні методи. Для зниження чисельності кліща вароа найчастіше використовують хімічні акарициди [6]. Такий метод боротьби з кліщем є надійним, високоефективним (85—99%), зручним та не потребує значних затрат часу і праці. До недоліків методу відносять не тільки токсичність хімічних акарицидів для кліща, але й токсичність для бджіл та споживачів бджолопродуктів. Окрім того, кліщі мають здатність набувати стійкості до хімічних акарицидів. Саме останнє диктує дослідникам необхідність розширення їхнього арсеналу.

Потрібно купувати акарициди, де в інструкції чітко прописано назву діючої речовини та її кількість. Бджоляр має знати, коли і чим він обробляв свою пасіку, яка діюча речовина входила до складу препарату і в якій кількості. Це дасть змогу чергувати препарати з різними діючими речовинами, що уповільнить набуття кліщем стійкості до них.

Як правило, хімічні акарициди ефективні проти кліща, що паразитує на імаго бджіл, і не діє на передімагінальній стадії розвитку бджоли, в закритому розпліді. Отже, слід чітко дотримувати рекомендацій інструкції з використання хімічних

акарицидів при лікуванні бджіл від вароатозу, а саме щодо кратності обробок, терміну та тривалості їхнього проведення. Не варто залишати в сім'ях пластинки з препаратом довше потрібного терміну, а тим більше використовувати їх протягом декількох сезонів.

Зразком таких препаратів, що широко використовуються в бджільництві, є засоби такі як "КАС-81" і "Біпін-Т" [7]. Ці препарати відносяться до числа найбільш дешевих рішень. Однак у цієї групи є значні недоліки, головний з яких - забруднення навколишнього середовища. При обробці бджіл сильнодіючими хімічними речовинами, частина цих речовин в різному ступені концентрації неминуче потрапляє в продукти бджільництва, наприклад, мед. Ці речовини і їх похідні накопичуються в організмі людини, що може привести до алергічних реакцій і інтоксикації, аж до отруєнь.

Механічні способи. Наприклад, використання різних методів, таких як загороджувальні решітки [8], струшування бджіл і кліщів при проходженні через шорсткі поверхні, вулики з сітчастим дном, а також запилення бджіл дрібнодисперсними речовинами (наприклад, крейдою або тальком), та інші.

У винаході [9] запропоновано метод, який полягає в короткочасному впливі вібраціями на бджіл і кліщів. Частота цих вібрацій відповідає половині довжини кліща і застосовується під час вльоту або вильоту бджоли з вулика, або в місцях масового скупчення бджіл. Оскільки механорецептори різних видів комах мають індивідуальний поріг чутливості, вібрації із зазначеною частотою викликають роздратування у кліщів, приводячи їх до підвищеної активності і, як наслідок, до падіння. У той же час на бджіл це не впливає через відмінності в розмірах. Після припинення впливу бджоли і кліщі повертаються в початковий стан, але впали кліщі вже не можуть повернутися на бджолу. При цьому життєдіяльність бджіл залишається незмінною.

1.3 Вимоги від пристрою

Вимоги до пристрою для боротьби з кліщем вароа методом акустичних хвиль повинні враховувати ряд важливих аспектів, необхідних для ефективної та безпечної роботи в бджільництві. Перш за все, пристрій повинен забезпечувати високу ефективність в боротьбі з кліщем вароа, що означає здатність значно знизити чисельність цього шкідника в пасіці. Важливо, щоб при цьому пристрій не завдавало шкоди бджолам і не забруднювало навколишнє середовище, зберігаючи баланс в бджолиній екосистемі і якість бджолопродукції.

Надійність пристрою є ще одним ключовим фактором, який слід враховувати при його розробці. Воно повинно бути стабільним в роботі і забезпечувати тривалий захист від кліща вароа без можливих збоїв або перебоїв у функціонуванні. Крім того, пристрій повинен бути доступним з економічної точки зору, мати прийнятну вартість виробництва і обслуговування, що дозволить бджолярам використовувати його без значних фінансових витрат.

Простота використання та обслуговування також відіграє важливу роль, оскільки пристрій повинен бути зрозумілим та простим у встановленні та використанні навіть для тих пасічників, які не мають спеціалізованих знань чи навичок. Воно повинно бути адаптивним до різних кліматичних і пасікарних умов, забезпечуючи ефективну роботу в різних регіонах і на різних типах пасік.

Не менш важливим фактором є наукова обґрунтованість пристрою, яка повинна базуватися на актуальних дослідженнях і експертних знаннях в області акустичних методів боротьби зі шкідниками бджіл. Пристрій повинен забезпечувати тривалий термін служби без необхідності частої заміни або ремонту, а також можливість розширення його функціональності при необхідності.

1.4 Призначення та область застосування апарату

Пристрій, заснований на використанні акустичних хвиль для боротьби з кліщем вароа, розроблено з метою забезпечення ефективного контролю і зниження

популяції цього шкідника в бджолиних пасіках. Його застосування спрямоване на захист бджіл і бджолиних сімей від впливу кліща вароа, тим самим сприяючи збереженню здоров'я бджіл і забезпечення стабільного розвитку бджільництва. Пристрій призначений для використання в бджільництві і може бути успішно застосовано в різноманітних кліматичних умовах і на різних типах пасік. Його застосування охоплює як невеликі сімейні пасіки, так і великі комерційні господарства, де воно може бути використано як досвідченими бджолярами, так і початківцями бджолярами. Ефективність пристрою особливо важлива в районах з високим рівнем інфекції кліщем вароа, де шкідництво цього паразита призводить до серйозних втрат у бджільництві. Застосування акустичного пристрою дозволяє знизити залежність від хімічних препаратів і підвищити стійкість бджіл до вароатозу, що сприяє поліпшенню екологічної стійкості бджільництва. Таким чином, пристрій має широкий спектр застосування в бджільництві і являє собою цінний інструмент для забезпечення здоров'я бджіл, збільшення рівня виробництва меду та інших бджолиних продуктів, а також для підтримки екологічної стійкості сільськогосподарських екосистем.

1.5 Переваги пристрою

Безпека для бджіл та навколишнього середовища: однією з ключових переваг є його безпека для бджіл та навколишнього середовища. Акустичні хвилі, що використовуються в пристрої, не завдають шкоди бджолам і не забруднюють навколишнє середовище. Це забезпечує екологічно чистий підхід до боротьби з кліщем вароа, що особливо важливо в сучасних умовах збереження біорізноманіття та здоров'я бджолиних популяцій.

Економічна ефективність: застосування пристрою дозволяє істотно знизити витрати на хімічні препарати і збільшити врожайність пасіки. Це досягається за рахунок зменшення необхідності в застосуванні хімічних засобів захисту від кліща вароа і підвищення загального рівня виробництва бджільницької продукції.

Економічна ефективність пристрою відбивається в збільшенні прибутку бджоляра і зниженні експлуатаційних витрат.

Надійність і довговічність: пристрій володіє надійною конструкцією і використанням високоякісних матеріалів, що забезпечує його довговічність і стабільну роботу протягом тривалого часу. Це дозволяє уникнути частих поломок і несправностей, що є важливим фактором для бджолярів, які бажають мінімізувати час і ресурси, що витрачаються на обслуговування обладнання.

Сумісність з іншими методами: пристрій легко інтегрується з іншими методами боротьби з кліщем вароа, такими як застосування хімічних препаратів, теплові методи або механічні засоби контролю. Це дозволяє бджолярам комбінувати різні підходи для максимальної ефективності та контролю над шкідником в залежності від конкретних умов і потреб їх пасіки.

Можливість зміни параметрів: пристрій надає користувачеві можливість регулювати інтенсивність акустичних хвиль, що є важливим для проведення експериментів і адаптації до конкретних умов пасіки. Це дозволяє оптимізувати роботу пристрою під різні кліматичні і пасікарні умови, а також проводити настройку під конкретні потреби і переваги бджоляра.

1.6 Висновки

В області бджільництва, де Україна займає провідне місце, існують серйозні загрози, включаючи вароатоз, який є основною загрозою для цієї галузі. Незважаючи на різноманітні методи боротьби з цим захворюванням, описані в безлічі патентів, проблема залишається актуальною.

У даній роботі запропоновано новий підхід до боротьби з вароатозом, заснований на використанні механічних коливань, аналогічних тим, які використовуються у винаході [9]. Це дозволяє значно знизити споживання енергії для створення необхідного ефекту, що робить можливим використання невеликих джерел

енергії, таких як сонячні панелі. Це особливо важливо для пасік, розташованих у віддалених районах, де доступ до електричної енергії обмежений.

Таким чином, запропонований метод не тільки спрямований на вирішення проблеми вароатозу, але й сприяє сталому використанню відновлюваних джерел енергії в бджільництві, що є важливим кроком у розвитку галузі.

РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ ЗАХИСТУ БДЖІЛ ВІД ВАРРОАТОЗУ

2.1 Структурна схема

На рис. 1 представлена структурна схема пристрою для захисту бджіл від варроатозу. Основні компоненти системи включають джерело живлення, генератор імпульсів, підсилювач потужності та акустичний випромінювач.

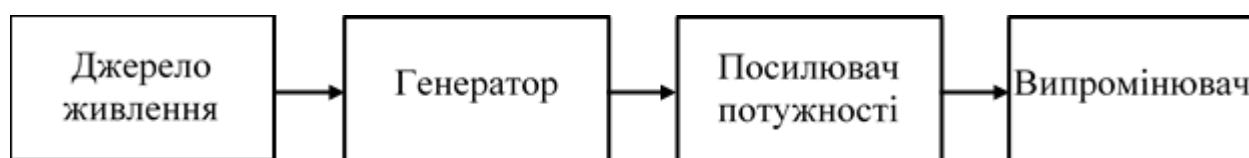


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою захисту бджіл від варроатозу

Джерело живлення є ключовим елементом, так як він забезпечує енергією всі інші компоненти системи. Важливо, щоб він був надійним і здатний підтримувати стабільне електропостачання навіть у віддалених і важкодоступних місцях, таких як пасіки. Можливість використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі, може значно збільшити автономність системи та зробити її більш екологічною.

Генератор сигналів відповідає за створення електричного сигналу, який потім перетворюється в акустичні коливання. Для проведення експериментів і визначення найбільш ефективної частоти впливу на кліщів-шкідників, генератор повинен володіти функцією регулювання частоти. Це дозволить дослідникам точно налаштувати частоту сигналу та оптимізувати процес випромінювання звуку для досягнення максимального ефекту.

Підсилювач потужності відіграє важливу роль в системі, так як він підсилює сигнал до рівня, необхідного для ефективного впливу на шкідників. Підсилювач повинен бути сумісний з акустичним випромінювачем і забезпечувати достатню потужність для поширення звукових хвиль на потрібні відстані

Акустичний випромінювач є кінцевим елементом ланцюга, який перетворює електричний сигнал в звукові хвилі. Використання серійно вироблених випромінювачів дозволяє знизити вартість системи і полегшити її масове впровадження. Крім того, вибір випромінювача повинен враховувати його здатність ефективно поширювати звукові хвилі в потрібному діапазоні частот.

Таким чином, розробка такого пристрою вимагає ретельного підходу до вибору компонентів і їх взаємодії, щоб забезпечити максимальну ефективність і надійність в боротьбі з варіаціями.

2.2 Генератор імпульсів

Для забезпечення ефекту струшування кліща вароа необхідно здійснити вплив з частотою близькою до частоти власних коливань осцилятора, об'єктом осцилятора є кліщ вароа. У відповідності з формулою ця частота залежить від маси об'єкта і деякої постійного коефіцієнта, розрахувати який не представляється можливим. Тому для вивчення ефекту прийнята за основу частота 15кГц яка була використана авторами при подібних експериментах [10]. За основу була прийнята частота взята з схожої розробки.

В результаті проведеного аналізу розроблена схема генератора на базі ШІМ-контролера TL494 [11], принципова схема якої показана на рис 2.

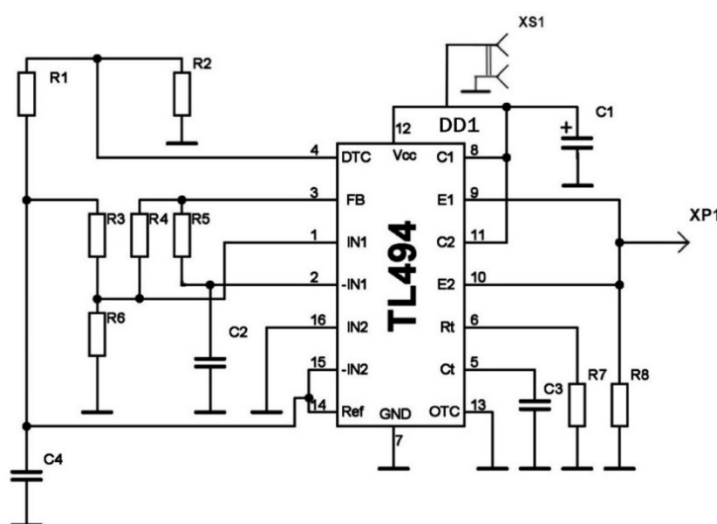


Рисунок 2 – Принципова схема генератора

Перевагою даної схеми є здатність не тільки генерувати електричні коливання із заданою частотою, але і формувати їх в пакети з певною шпаруватістю. Це забезпечує можливість точного регулювання впливу коливань на кліщі.

На вхід схеми VCC через роз'єм XS1 подається постійна напруга 12 В. На виході XP1 формуються імпульсні пакети з частотою, що задається елементами C3 і r7. Схема дозволяє регулювати частоту імпульсів у пакеті f_i , а також частоту самих пакетів $f_{п}$.

Частота імпульсів в пакеті обчислюється за формулою

$$f_i = \frac{1,1}{C3 \cdot R7} \cdot \quad (1)$$

Частота слідування пакетів задається елементами C2 та R5.

2.3 Посилувач потужності

В якості посилювача потужності пропонується використати схему представлену на рис. 3.

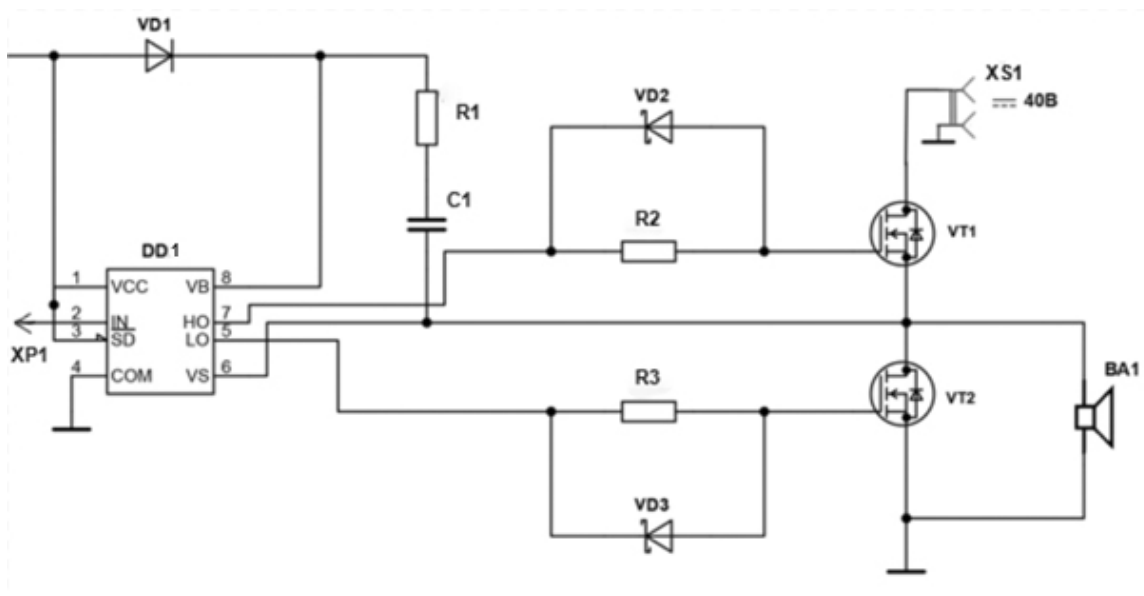


Рисунок 3 – Принципова схема посилювача потужності

Посилювач потужності розроблен на базі мікросхеми IR2104PBF [12]. IR2104PBF є це високошвидкісним напівмостовим драйвером.

Властивості напівмостового драйвера:

- Керуючі канали призначені для роботи під навантаженням
- Повністю працездатний при напрузі до + 600 В
- Нечутливий до негативних перехідних напруг
- Несприйнятливий до швидкості наростання напруги dV / dt
- Діапазон напруг живлення від 10 до 20 В
- Відключення при зниженні напруги
- Вхід сумісний з логікою на 3.3 В, 5 В і 15 В
- Запобігання логіці поперечної провідності
- Внутрішньо встановлений час затримки
- Вихід у фазі зі входом
- Висновок відключення відключає обидва канали
- Узгоджена затримка розповсюдження для обох каналів
- Без свинцю

IR2104 — драйвер для високовольтних, високошвидкісних MOSFET і IGBT транзисторів з залежними вихідними каналами від низького і високого рівнів. Технології HVIC і КМОП структури без ефекту замикання дозволили створити монолітну мікросхему яка передбачає використання в екстремальних умовах. Логічний вхід сумісний зі стандартними КМОП або LSTTL виходом, аж до логіки на 3.3 В. Виходи драйверів мають високий імпульсний струм буферного каскаду, призначений для зменшення поперечної провідності. Вільний канал може бути

використаний для управління потужним N-канальним MOSFET і IGBT транзистором працюючому при напрузі від 10 до 600 В.

2.4 Акустичний випромінювач

Як джерело звукових хвиль застосовуємо акустичну систему SSP500, яка охоплює частотний діапазон від 70 Гц до 20 кГц і володіє потужністю до 20 Вт. Вона може працювати при температурних умовах від -40°C до $+90^{\circ}\text{C}$ і при вологості до 95% [13]. Габаритні розміри системи SSP500 представлені на рис 4.

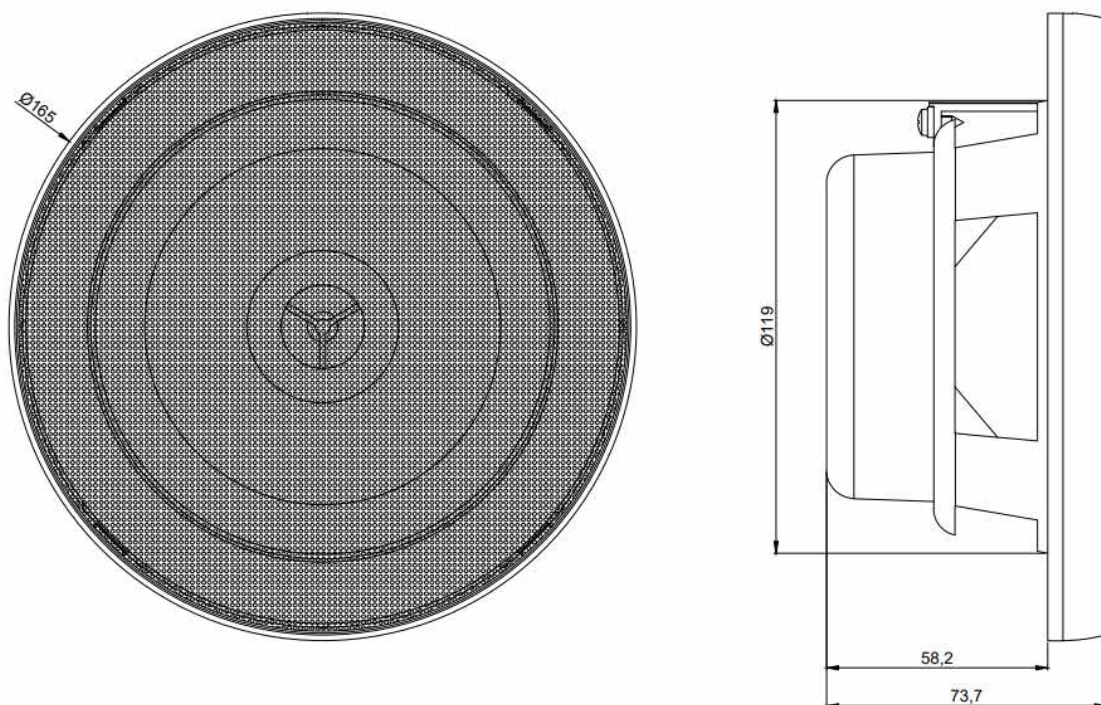


Рисунок 4 – Габаритні розміри акустичного випромінювача SSP500

2.5 Принципова схема

В процесі розробки принципової схеми було об'єднано генератор імпульсів, посилювач та акустичний випромінювач. Принципова схема приладу зображена на рис. 5.

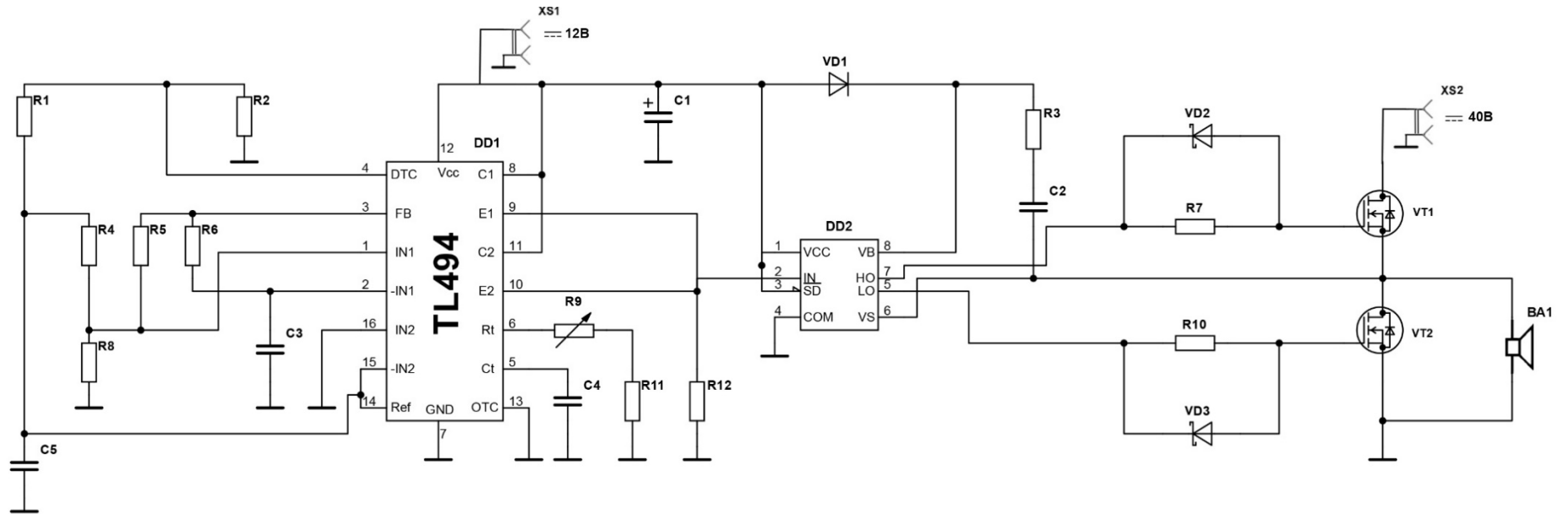


Рисунок 5 – Принципова електрична схема приладу для боротьби з вароатоз

2.6 Вибір елементів схеми

Мікросхема Texas Instruments TL494CNSR (DD1)

Пристрій TL494CNSR включає в себе всі функції, необхідні для побудови схеми управління широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на одному кристалі. Розроблене в першу чергу для управління джерелом живлення. Цей пристрій забезпечує гнучкість при адаптації схеми управління джерелом живлення до конкретного застосування.

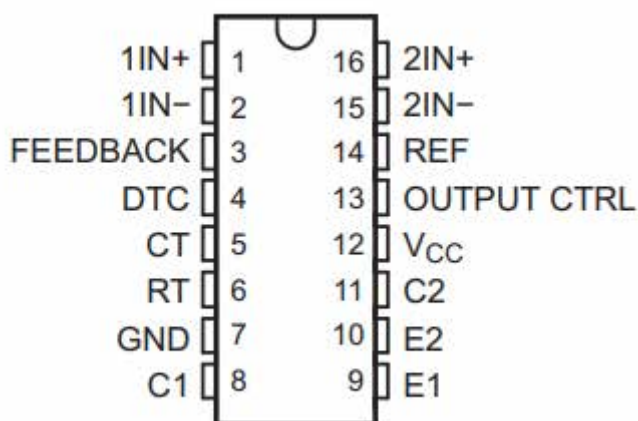


Рисунок 6 – Виводи мікросхеми TL494CNSR

Схематичне зображення та розміри TL494CNSR представлено на рис. 7. Характеристики мікросхеми наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики мікросхеми TL494CNSR

Макс. вхідна напруга	41В
Макс. вихідна напруга	41В
Макс. вихідний струм	250мА
Діапазон робочої температури	0...+70 °С

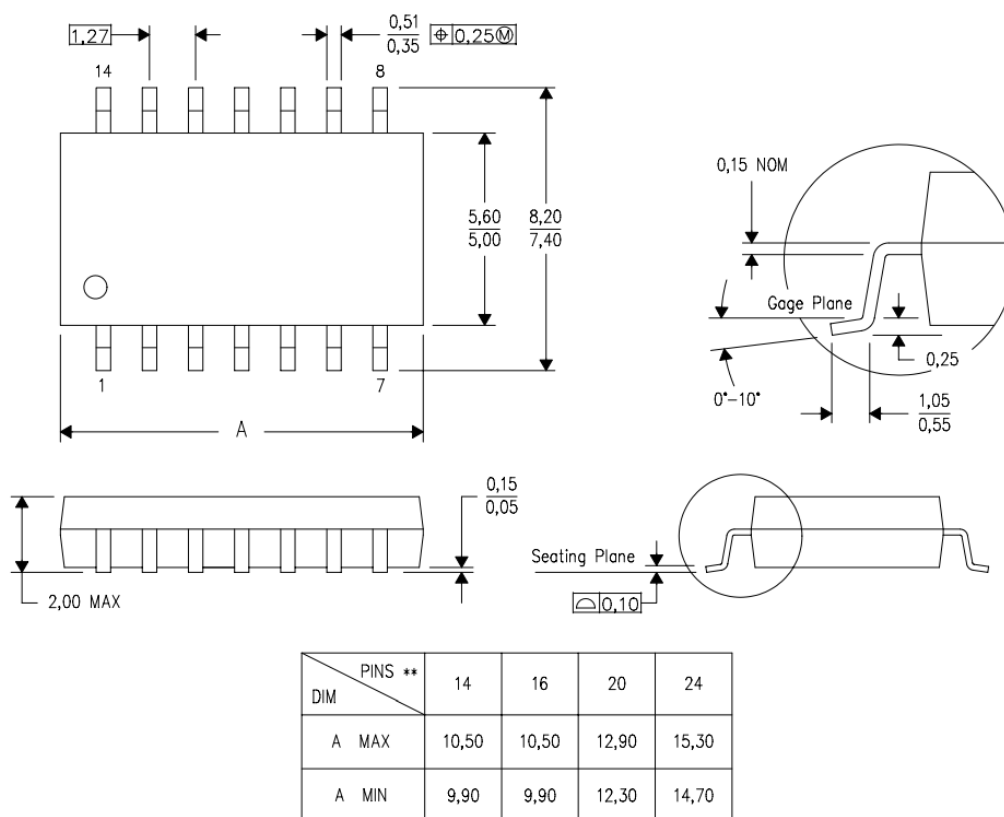


Рисунок 7 – Схематичне зображення та розміри мікросхеми DD1

Мікросхема Infineon Technologies IR2104PBF (DD2)

Мікросхема IR2104PBF - драйвер для високовольтних, високошвидкісних MOSFET і IGBT транзисторів з залежними вихідними каналами від низького і високого рівнів. Технології HVIC і КМОП структури без ефекту замикання дозволили створити монолітну мікросхему передбачає використання в екстремальних умовах. Логічний вхід сумісний зі стандартними КМОП або LSTTL виходом, аж до логіки на 3.3 В. виходи драйверів мають високий імпульсний струм буферного каскаду, призначений для зменшення поперечної провідності. Вільний канал може бути використаний для управління потужним N-канальним MOSFET і IGBT транзистором працюють при напрузі від 10 до 600 В.

Виводи мікросхеми зображені на рис. 8

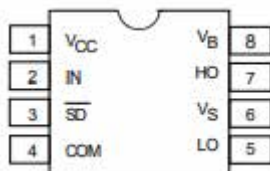


Рисунок 8 – Виводи мікросхеми IR2104PBF

Схематичне зображення IR2104PBF представлено на рис. 9. Характеристики мікросхеми наведено у таблиці 2.

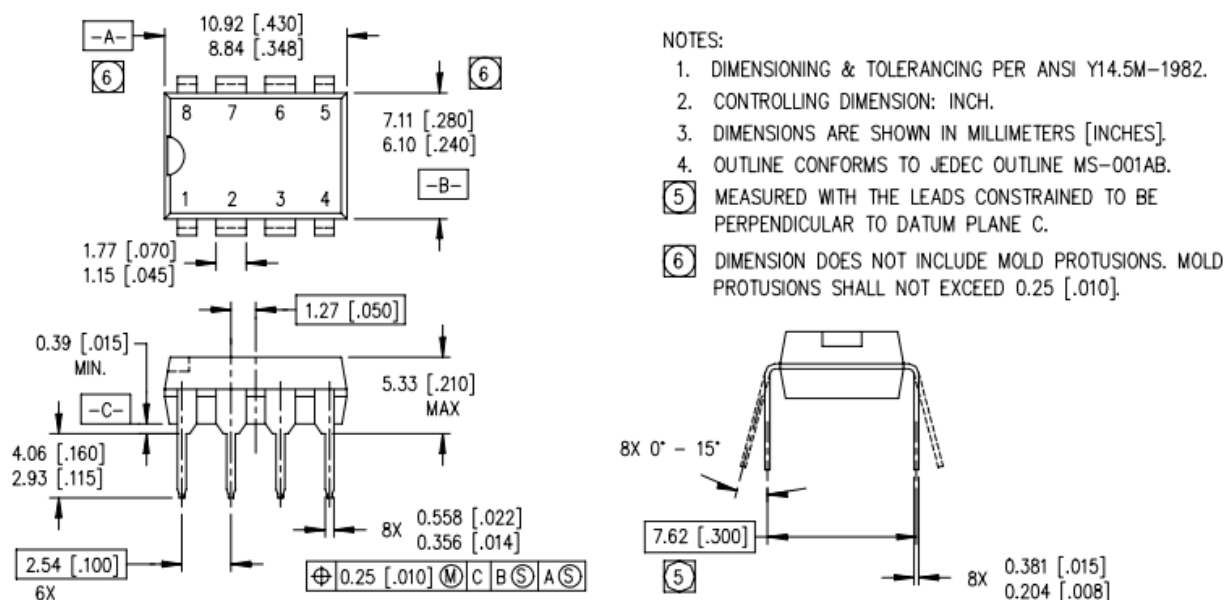


Рисунок 9 – Схематичне зображення та розміри мікросхеми DD2

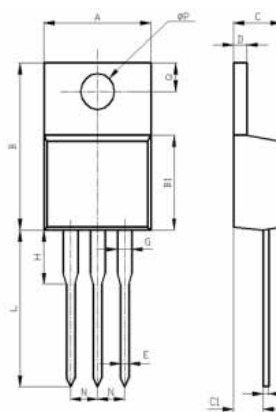
Таблиця 2 – Характеристики мікросхеми

Макс. вхідна напруга	25.3В
Максимальна напруга зміщення	625В
Макс. вихідний струм	360мА
Діапазон робочої температури	-40...+150 °С

Транзистори Minos IRFZ44N (VT1, VT2)

IRFZ44N-N-канальний польовий транзистор, виготовлений за технологією MOSFET (КМОП). Транзистор володіє хорошими технічними характеристиками і добре підходить для управління потужною навантаженням.

На рис. 10 наведено Схематичне зображення та розміри транзисторів IRFZ44N. В таблиці 3 представлені основні параметри транзисторів IRFZ44N.



Items	Values(mm)	
	MIN	MAX
A	9.60	10.6
B	15.0	16.0
B1	8.90	9.50
C	4.30	4.80
C1	2.30	3.10
D	1.20	1.40
E	0.70	0.90
F	0.30	0.60
G	1.17	1.37
H	2.70	3.80
L	12.6	14.8
N	2.34	2.74
Q	2.40	3.00
φ P	3.50	3.90

Рисунок 10 – Схематичне зображення та розміри транзисторів IRFZ44N

Таблиця 3 – Основні параметри транзисторів

Найменування параметра	Значення
Тип транзистора	MOSFET
Максимальна потужність	87Вт
Гранично допустима напруга стік-витік	60В
Гранично допустима напруга затвор-витік	20В
Ток стіку	60А
Діапазон робочих температур	-55°C...+175°C

Електролітичний алюмінієвий конденсатор Nichicon UHE1H4R7MDD (C1)

Конденсатор Nichicon UHE1H4R7MDD представлений на рис. 10. Його основні параметри наведені у таблиці 3.

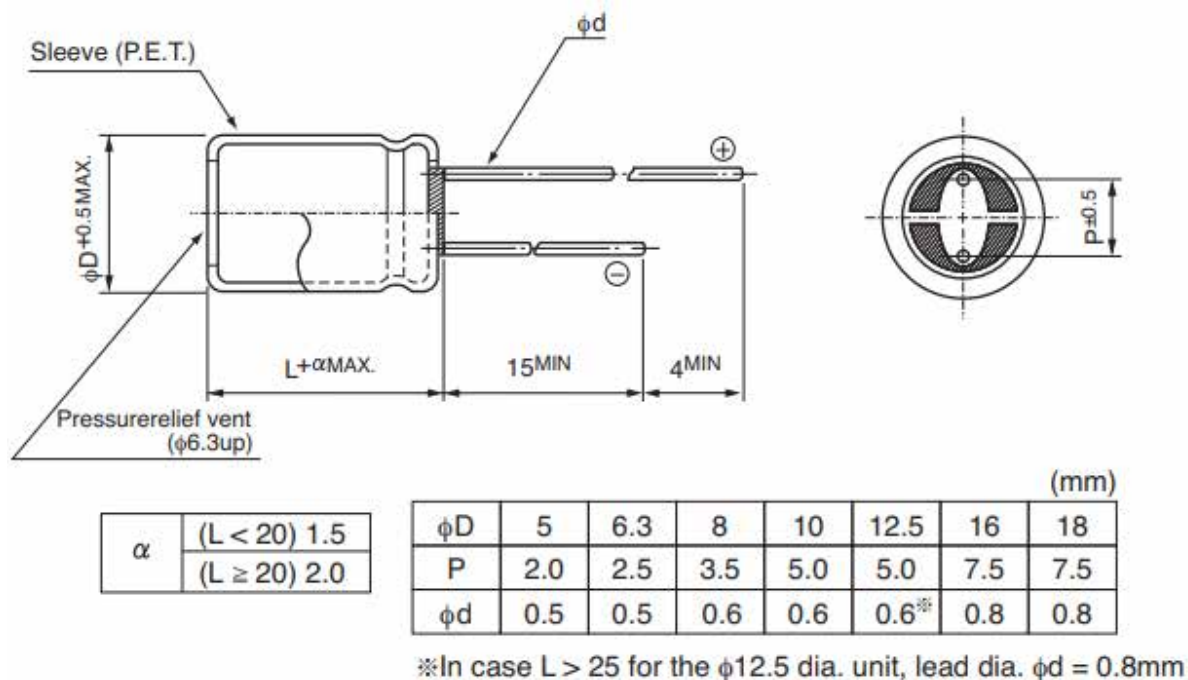


Рисунок 10 – Схематичне зображення та розміри конденсатора C1

Таблиця 3 – Основні параметри конденсатора

Номінальна ємність	4.7нФ
Номінальна напруга	50 В
Діапазон робочої температури	-40...+105 °С
Допустиме відхилення ємності від номіналу	±20%

Керамічні конденсатори (C2-C5)

Схематичне зображення та розміри конденсаторів C2-C5 зображені на рис. 11-13. Основні параметри наведені у таблиці 4.

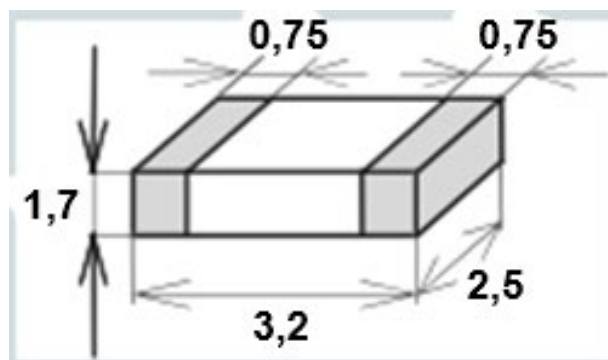


Рисунок 11 – Схематичне зображення та розміри конденсатора С2

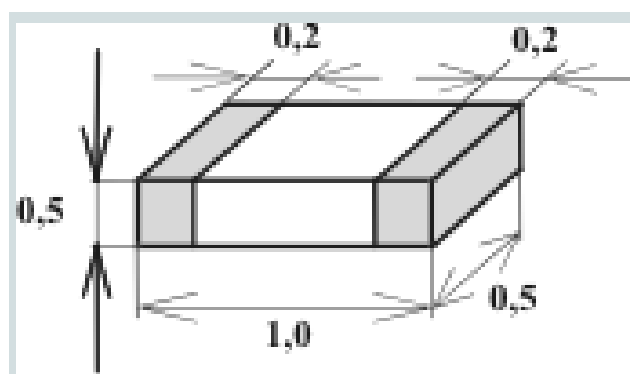


Рисунок 12 – Схематичне зображення та розміри конденсаторів С3, С4

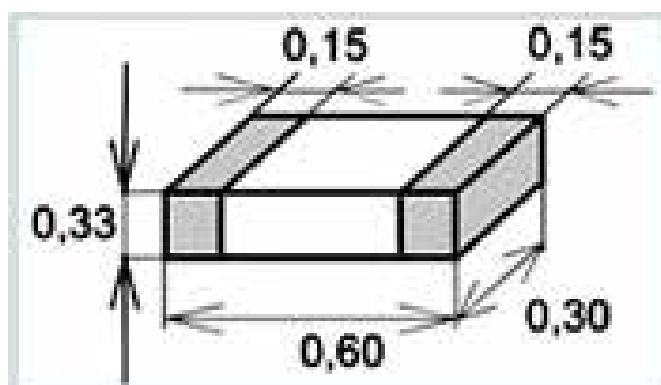


Рисунок 13 – Схематичне зображення та розміри конденсатора С5

Таблиця 4 – Основні параметри конденсаторів C2-C4

Позначення	Назва	Номинальна ємність, нФ	Допустиме відхилення ємності від номіналу, %	Номинальна напруга, В	Діапазон робочої температури
C2	TDK C3225X 6S1E106 K250AC	10000	±10	25	-55...+105°C
C3	Murata Electronics GRM15 5R61H1 05ME05 D	1000	±20	50	-55...+85 °C
C4	TDK CGA2B 3X7R1H 103M05 0BD	10	±20	50	-55...+125 °C
C5	TDK C0603X 5R1E10 2M030B A	1	±20	25	-55...+85 °C

Резистори (R1-R8, R10-R12)

Схематичне зображення та розміри резисторів R1-R8, R10-R12 зображені на рис. 14-18. Основні параметри наведені у таблиці 5.

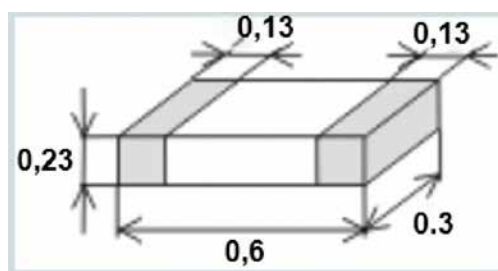


Рисунок 14 – Схематичне зображення та розміри резисторів R1, R4, R5, R6

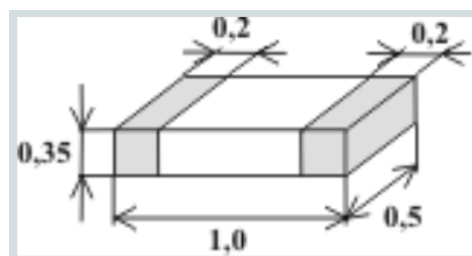


Рисунок 15 – Схематичне зображення та розміри резисторів R2, R8

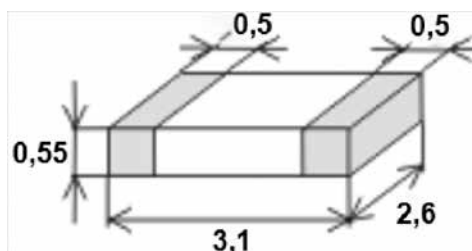


Рисунок 16 – Схематичне зображення та розміри резисторів R7, R10, R11

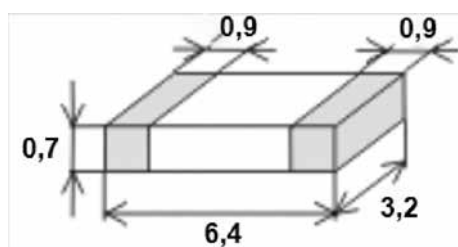


Рисунок 17 – Схематичне зображення та розміри резистора R3

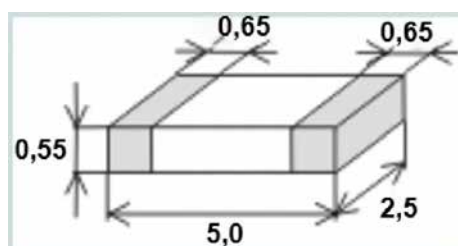


Рисунок 18 – Схематичне зображення та розміри резистора R12

Таблиця 5 – Основні параметри резисторів

Позначення	Назва	Опір, кОм	Допустиме відхилення опору від номіналу, %	Ном. потужність, мВт	Діапазон робочої температури
R1	YAGEO RC0201FR-0715KL	15	±1%	50	-55°C...+125°C
R2	RALEC RTT02502JTH	5	±5%	62,5	-55°C...+155°C
R3	Ohmite LVM25FV R100E-TR	0,0001	±1%	1000	-55°C...+155°C
R4, R5	RALEC RTT011003 FTH	100	±1%	50	-55°C...+125°C
R6	RALEC RTT01224J TH	220	±5%	50	-55°C...+125°C
R7, R10	UNI- ROYAL(Uniroyal Elec) NQ07W2J0 220T5E	0,022	±5%	500	-55°C...+155°C
R8	Walsin Tech Corp SR04X103J TL	10	±5%	62.5	-55°C...+155°C
R11	UNI- ROYAL(Uniroyal Elec) 1210W2F20 01T5E	2	±1%	500	-55°C...+155°C
R12	Walsin Tech Corp WR20X471 JTL	0,47	±5%	750	-55°C...+155°C

Підлаштовний резистор BOCHEN (Chengdu Guosheng Tech) 3386P-1-103 (R9)

Підлаштовний резистор підключається в режимі реостату. При такому режимі підключення він виконує роль регулятора частоти імпульсів.

Схематичне зображення та розміри підлаштовного резистора зображені на рис. 19. Основні параметри наведені у таблиці 6.

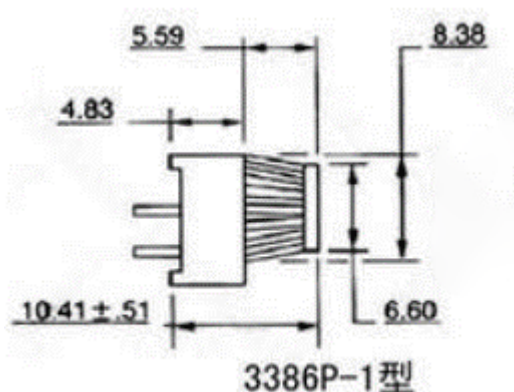


Рисунок 19 – Схематичне зображення та розміри підлаштовного резистора

Таблиця 6 – Основні параметри підлаштовного резистора

Потужність	0,5Вт
Опір	10кОм
Допуск	±10%
Діапазон робочої температури	-55...+125

Діод DIOTEC UF4002 B288B (VD1)

Діод UF4002 та його розміри зображені на рис. 20. Основні параметри елемента наведені в таблиці 7.

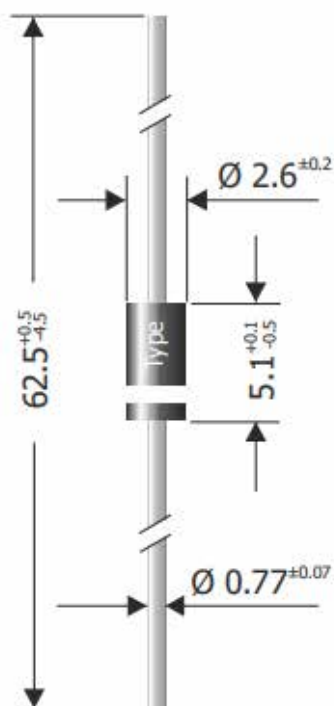


Рисунок 20 – Схематичне зображення та розміри діода VD1

Таблиця 7 – Основні параметри діода UF4002

Найменування параметра	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	100
Максимальний (середній) постійний прямий струм, А	1
Максимальна пряма напруга, В	1
Ємність, пФ	20
Діапазон робочих температур, °С	-55...+125

Діоди Onsemi 1N5819G (VD2, VD3)

Схема діодів 1N5819G та їх розміри представлені рис. 20. Основні параметри елемента наведені в таблиці 8.

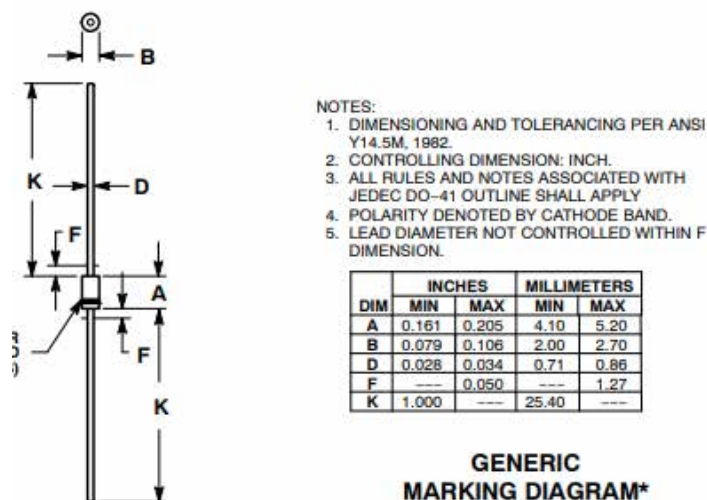


Рисунок 21 – Схематичне зображення та розміри діодів VD2, VD3

Таблиця 8 – Основні параметри діодів 1N5819G

Найменування параметру	Значення
Максимальна постійна зворотна напруга, В	40
Максимальна імпульсна зворотна напруга, В	40
Максимальний прямий струм, А	1
Максимально допустимий прямий імпульсний струм, А	25
Максимальна пряма напруга, В	0,6
Діапазон робочих температур, °С	-65...+125

Роз'єм BOOMELE(Boom Precision Elec) C49661 (XS1, XS3)

Роз'єми XS1 потрібен для підключення живлення (12 В). Роз'єм XS3 використовується для підключення акустичного випромінювача. Схема роз'єму та його розміри зображені на рис. 22.

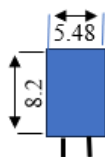


Рисунок 22 – Схематичне зображення та розміри роз'єм XS1.

Роз'єм НСТL DB-8-5DP9 (XS2)

Роз'єм XS2 використовується для живлення підсилювальної частини схеми (40В). Схематичне зображення роз'єму та його розміри представлені на рис. 22.

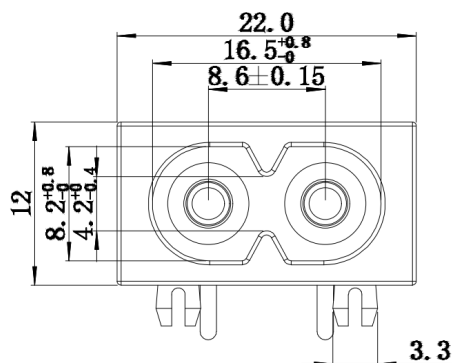


Рисунок 23 – Схематичне зображення та розміри роз'єм XS2.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРИЛАДУ

3.1 Моделювання роботи основного елемента пристрою

Для перевірки роботи розробленого пристрою було проведено моделювання роботи генератора за допомогою програми Multisim.

Дослідницька схема представлена на малюнку 24. у схемі використані модель "ідеальної мікросхеми" TL494 DD1, джерело живлення 12 В V1, а також резистори R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8 і конденсатори C1, C2, C3, C4.

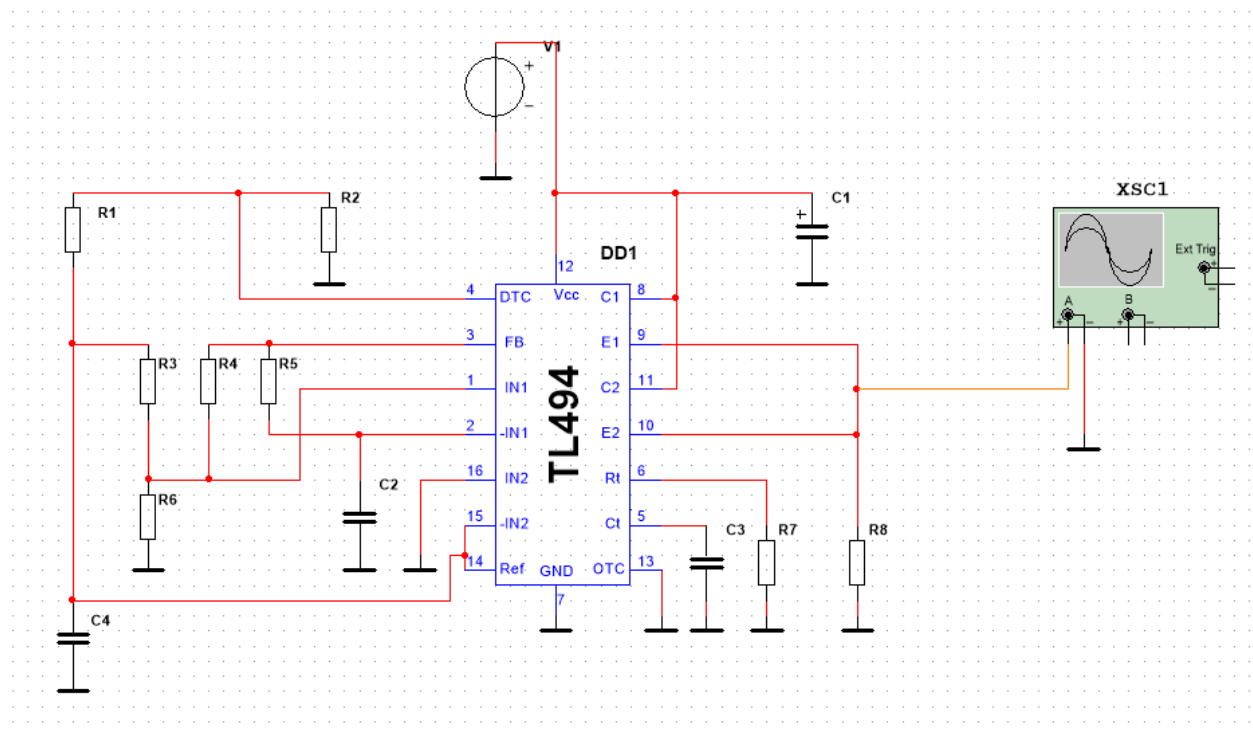


Рисунок 24 – Схема дослідження основного елемента пристрою

Використовуючи інструмент "Осцилограф", були зафіксовані осцилограми вихідного сигналу, представлені на рис. 25 і 26. Канал «А» реєструє вихідну напругу з амплітудним значенням 11,142 В. На рис. 25 видно імпульси в пакеті з розгорткою 50 us/div, а на рис. 26 — ті ж імпульси, але при збільшеній розгортці до 100 ms/div, що показують пакети імпульсів.

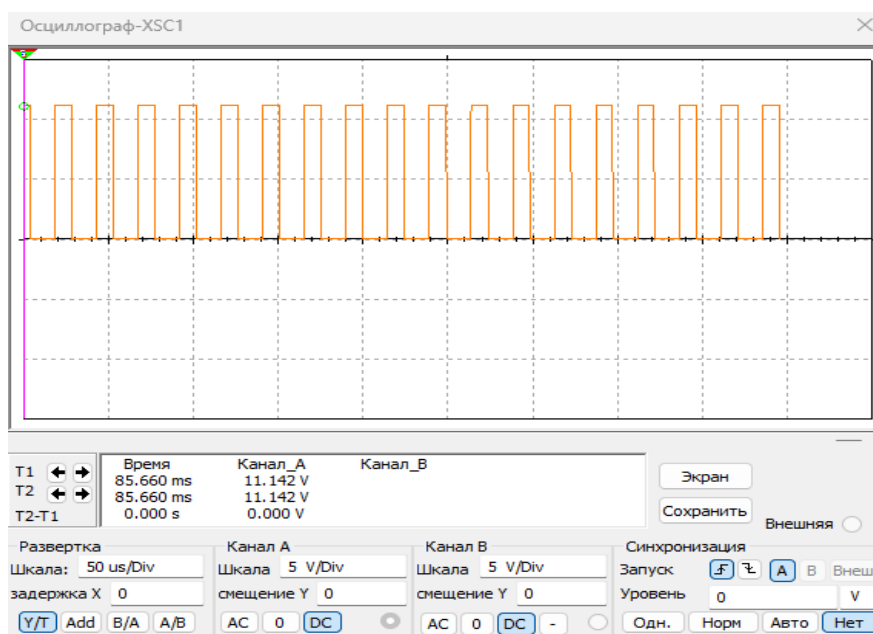


Рисунок 25 – Осцилограмма вихідного сигналу у розгортці 50 us/div при $R7=2700 \text{ Ом}$ і $C3=10 \text{ нФ}$

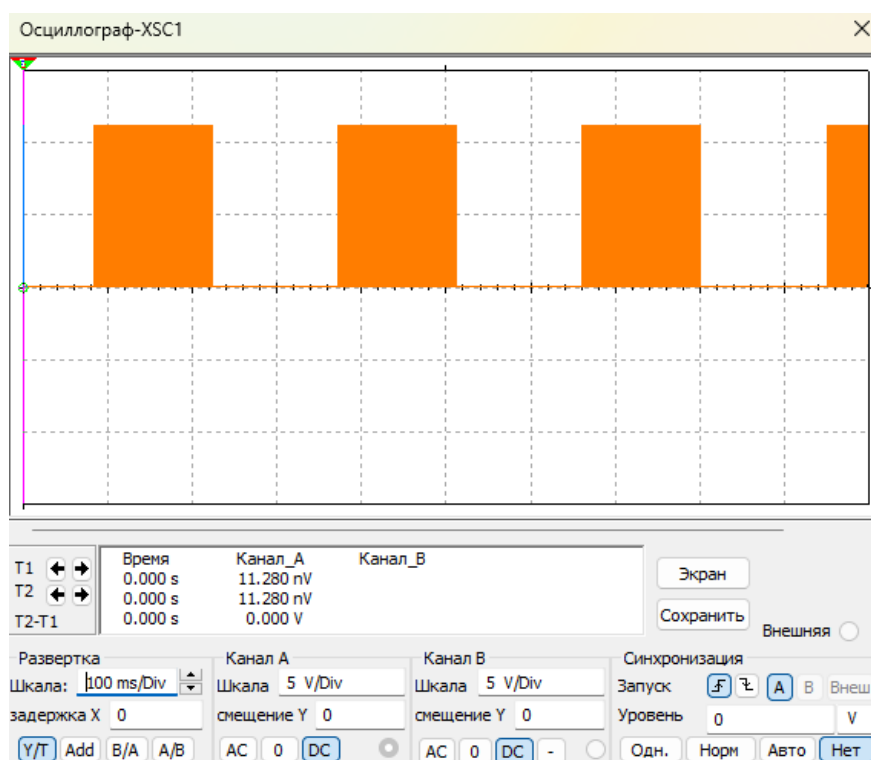


Рисунок 26 – Осцилограмма вихідного сигналу у розгортці 100 ms s/div $R7=2700 \text{ Ом}$ і $C3=10 \text{ нФ}$

3.2 Дослідження залежності частоти імпульсів від параметрів схеми

Дослідження залежності імпульсів від параметрів елементів було виконано за допомогою моделювання в програмі Multisim з використанням інструменту «частотомір». Результати моделювання впливу елементів R7 і C3 на частоту імпульсів наведені в таблиці 9

Таблиця 9 – Залежність частоти імпульсів від параметрів елементів R7 та C3

R7, кОм	f , кГц			
	C3=5 нФ	C3=10 нФ	C3=15 нФ	C3=20 нФ
2,0	110	55	37	28
2,7	81	41	27	20
3,0	73	37	24	18
3,3	67	33	22	17
4,7	47	23	16	12
5,1	43	22	14	11
5,8	38	19	13	9

На рис. 27 показана залежність частоти імпульсів від значення опору резистора R7 при фіксованих значеннях ємності C3.

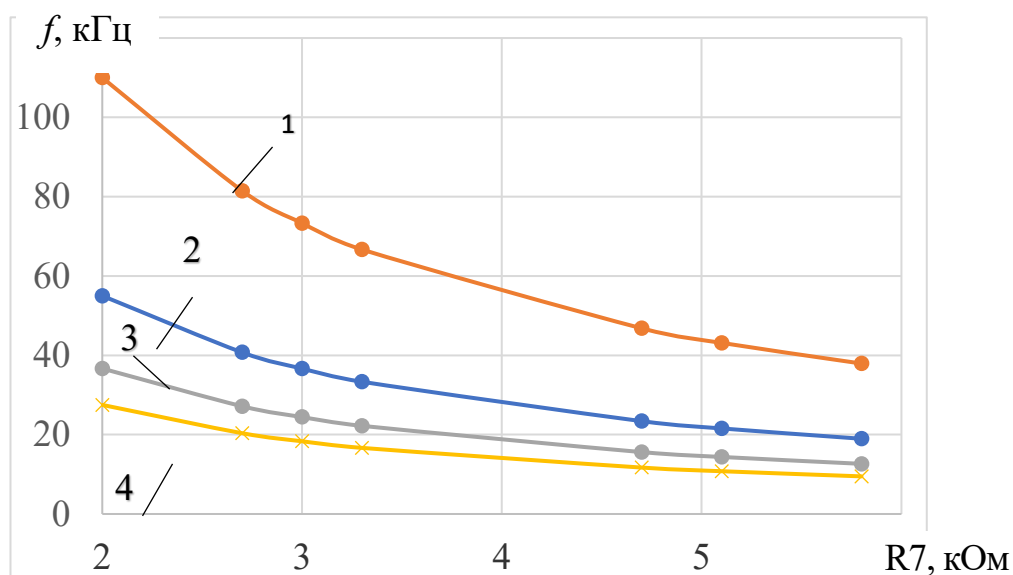


Рисунок 27 – Залежність частоти імпульсів f від опору резистора R7 при $C_3 = \text{const}$ (1 - 5 нФ, 2 - 10 нФ, 3 - 15 нФ, 4 - 20 нФ).

На рис. 28 показана залежність частоти імпульсів від значення ємності конденсатора $C3$ при фіксованих значеннях опору резистора $R7$.

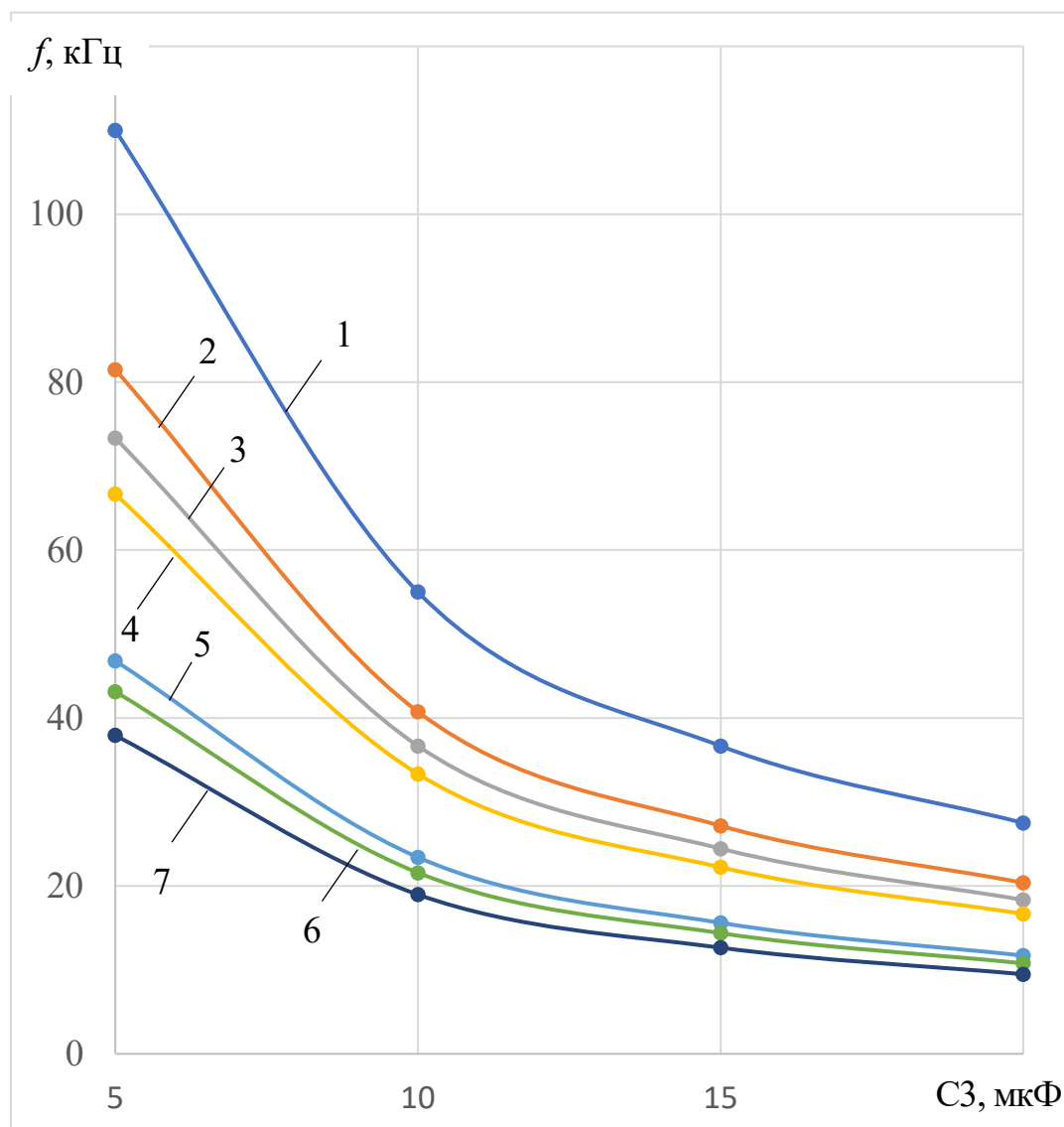


Рисунок 28 – Залежність частоти імпульсів f від ємності $C3$ при $R7 = \text{const}$ (1–2,0 кОм, 2–2,7 кОм, 3–3 кОм, 4–3,3 кОм, 5–4,7 кОм, 6– 5,1 кОм, 7 – 5,8 кОм).

3.3 Дослідження залежності частоти пакетів імпульсів від параметрів схеми

У програмі Multisim було проведено моделювання впливу елементів $R5$ і $C2$. На рис. 29 і 30 представлені осцилограми вихідних імпульсів при різних значеннях цих параметрів, що демонструють ефект регулювання.

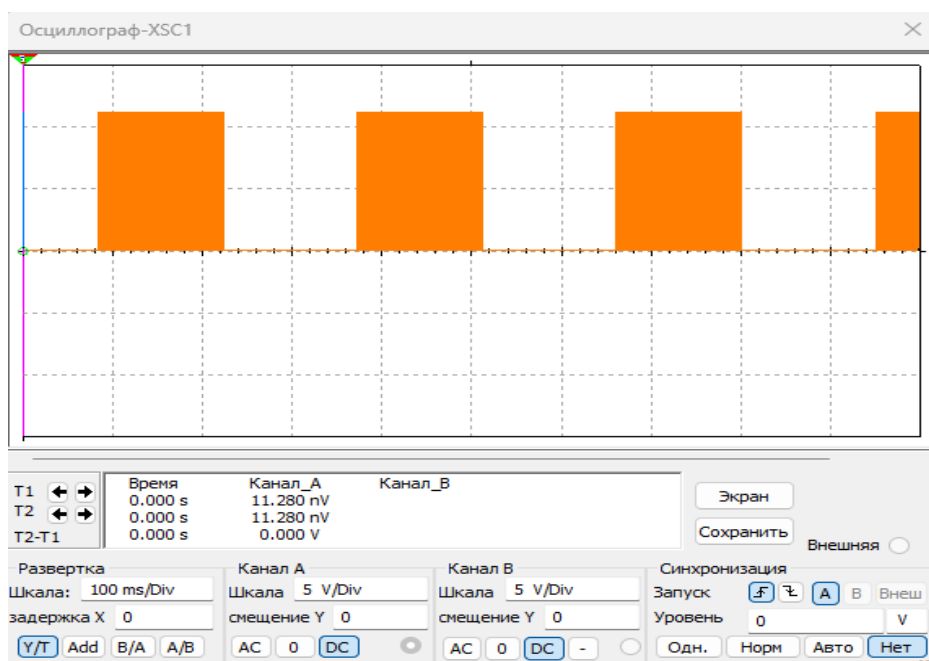


Рисунок 29 – Осцилограма вихідного сигналу у розгортці 100 ms/div при $R5=220$ кОм і $C2=1$ мкФ ($f_{\pi} = 3,5$ Гц)

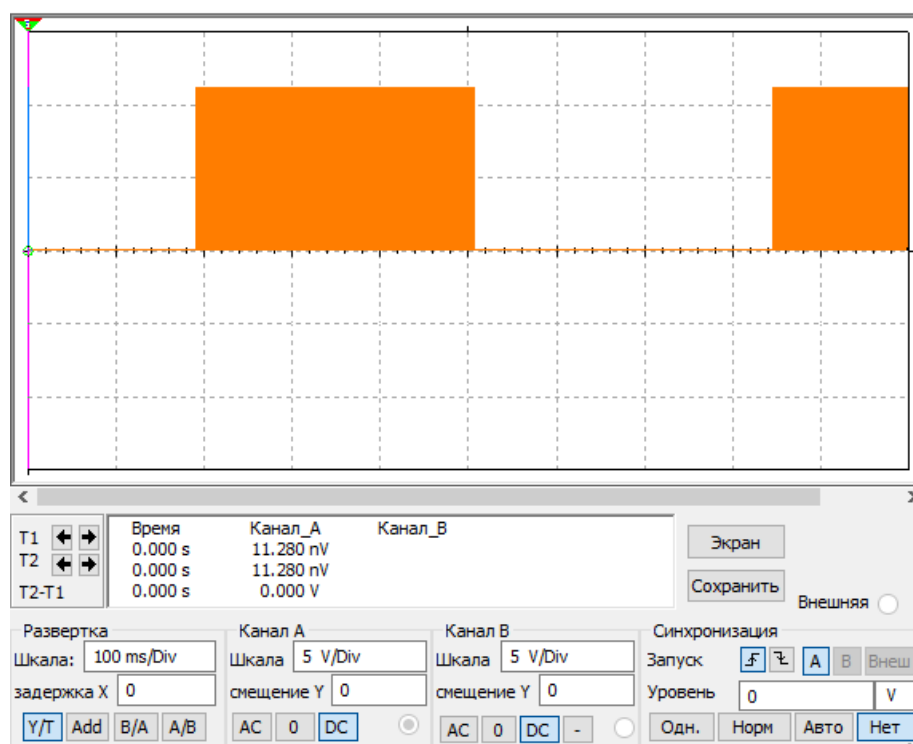


Рисунок 30 – Осцилограма вихідного сигналу у розгортці 100 ms/div при $R5=500$ кОм і $C2=1$ мкФ ($f_{\pi} = 1,5$ Гц)

У таблиці 10 представлені значення періоду $T_{п}$ і частоти пакетів імпульсів при зміні параметрів $R5$ і $C2$. Частоту пакетів імпульсів визначали за допомогою осцилограм, використовуючи розрахунок за формулою

$$f_{п} = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Таблиця 10 – Залежність частоти пакетів імпульсів від параметрів елементів $R5$ та $C2$.

R5, кОм	при C2=0,5 мкФ		при C2=1,0 мкФ		при C2=2,0 мкФ	
	$T_{п}$, мс	$f_{п}$, Гц	$T_{п}$, мс	$f_{п}$, Гц	$T_{п}$, мс	$f_{п}$, Гц
150	99	10,10	197	5,08	395	2,53
180	118	8,47	238	4,20	470	2,13
220	144	6,94	280	3,57	580	1,72
300	197	5,08	393	2,54	786	1,27
420	277	3,61	552	1,81	1116	0,90
500	327	3,06	660	1,52	1307	0,77

На рис. 31 показана залежність частоти слідування пакетів імпульсів від значення опору резистора $R5$ при фіксованих значеннях ємності $C2$.

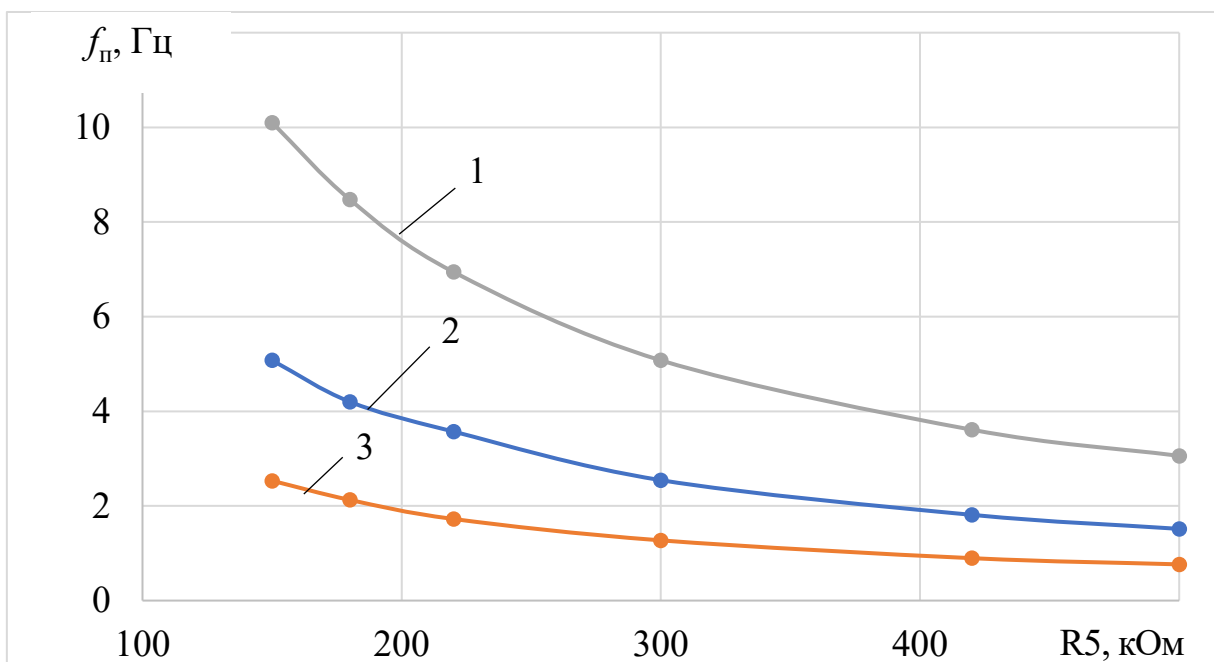


Рисунок 31 – Залежність частоти слідування пакетів імпульсів $f_{п}$ від значення опору резистора $R7$ при $C2 = \text{const}$ (1 – 0,5 мкФ, 2 – 1,0 мкФ, 3 – 2,0 мкФ).

На рис. 32 показана залежність частоти слідування пакетів імпульсів від значення ємності конденсатора C2 при фіксованих значеннях опору резистора R5.

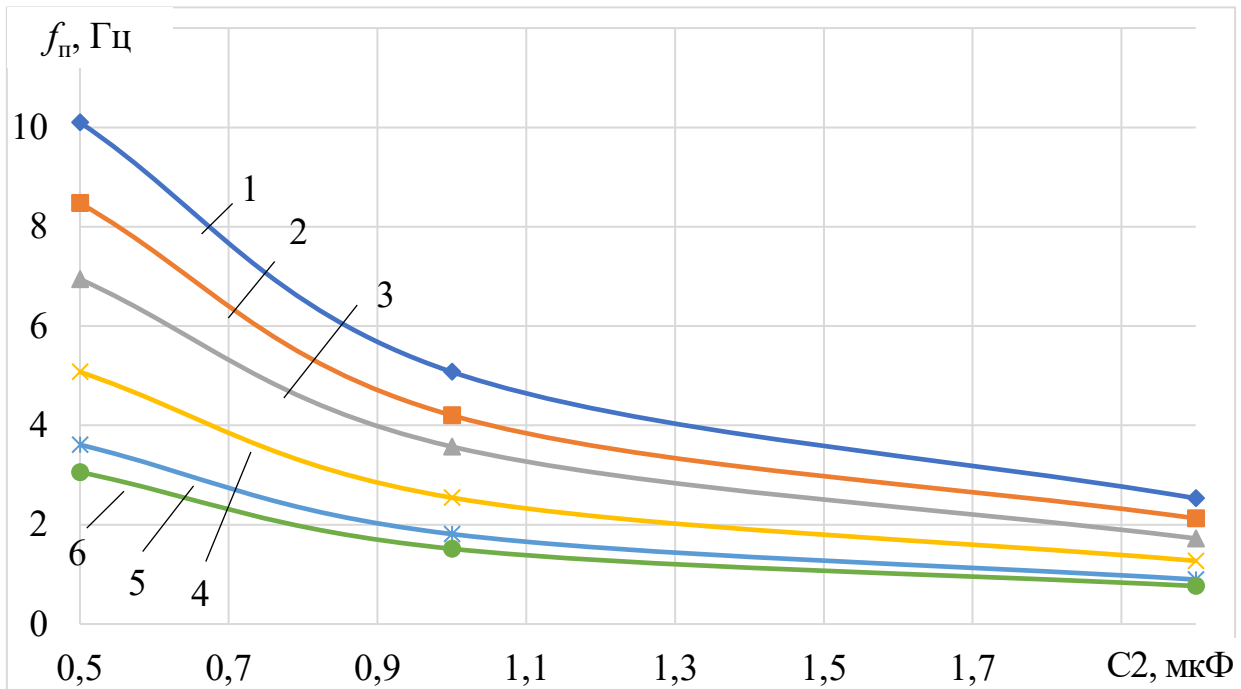


Рисунок 32 – Залежність частоти слідування пакетів імпульсів f_p від значення ємності конденсатора C2 при $R5 = \text{const}$

(1 - 150 кОм, 2 - 180 кОм, 3 - 220 кОм, 4 - 300 кОм, 5 - 420 кОм, 6 – 500 кОм).

3.4 Дослідження повної працездатності пристрою

Для перевірки повної працездатності розробленого пристрою проведено моделювання його роботи в програмі Multisim. Так як в даній програмі відсутній акустичний випромінювач з потрібними характеристиками, замість нього було використано опір 8 Ом (R12) відповідний опору випромінювача.

Схема дослідження представлена на рис. 33. Схема виконана з використанням моделей: «ідеальної мікросхеми» TL494 (DD1) та IR2104PBF (DD2); джерела живлення 12В V1, 40В V2; резисторів R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R10, R11, R12; реостату R13; конденсаторів C1, C2, C3, C4, C5; діодів VD1, VD2, VD3; транзисторів VT1, VT2.

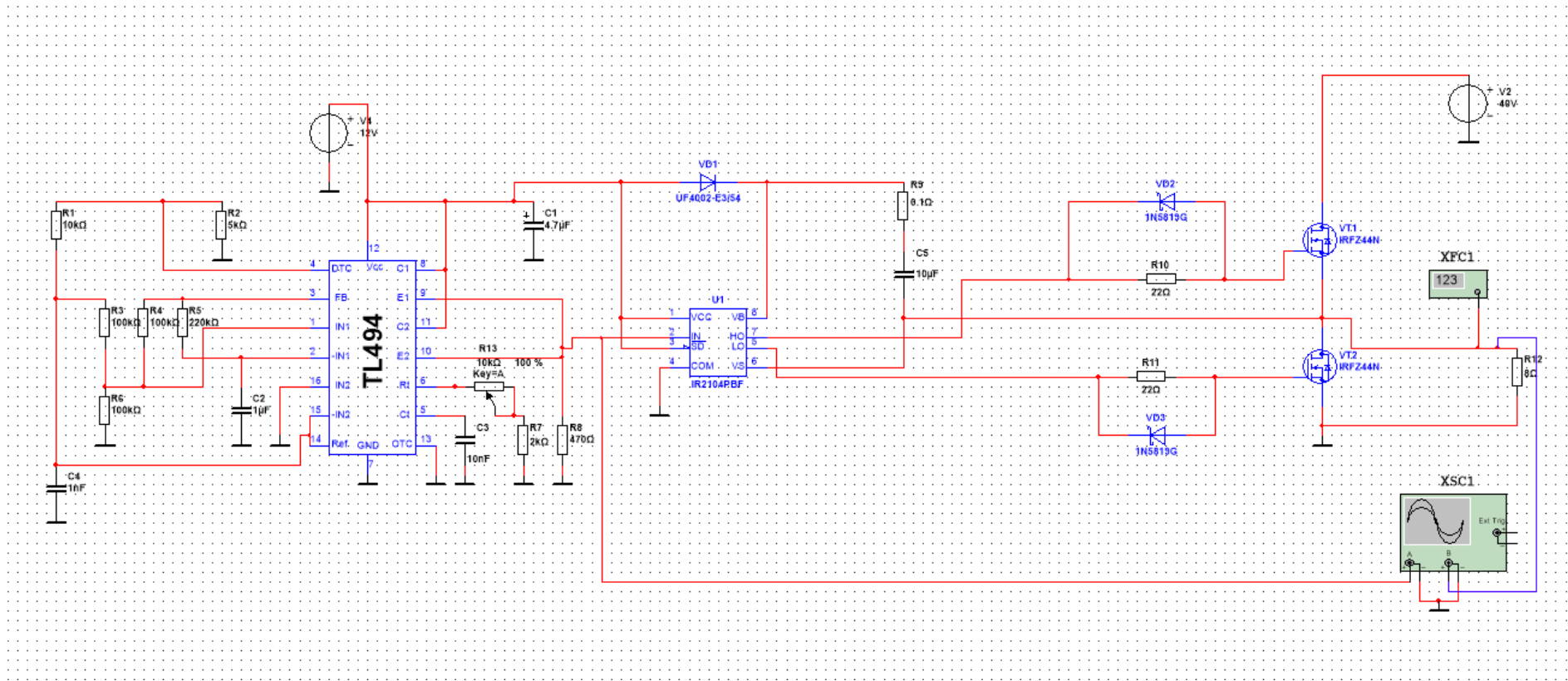


Рисунок 33 - Схема дослідження роботи пристрою

За допомогою інструмента «Осцилограф» (XSC1) знято осцилограми сигналу до підсилення та вихідного «підсиленого» сигналів, представлених на рис. 34. Канал «А» фіксує напругу до підсилення, амплітудне значення якої –12 , канал «В» показує напругу після підсилення – 40В .

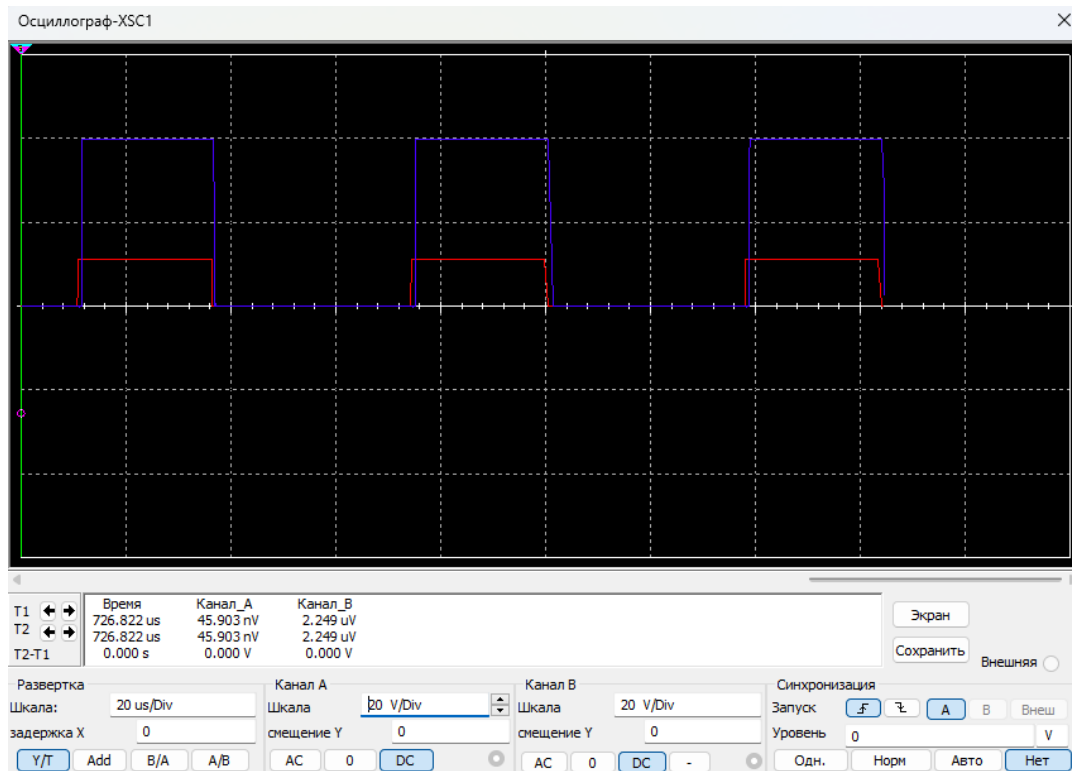


Рисунок 34 – Осцилограма вхідного та вихідного сигналу

За допомогою інструмента «Частотомір» (XFC1) виміряно частоту на виході у початковому положенні реостату (R13), яка дорівнює 54,968 кГц, результат моделювання на рис. 35. Також знято вихідну частоту у крайньому положенні реостату, вона дорівнює 9,166 кГц, результат наведено на рис. 36.

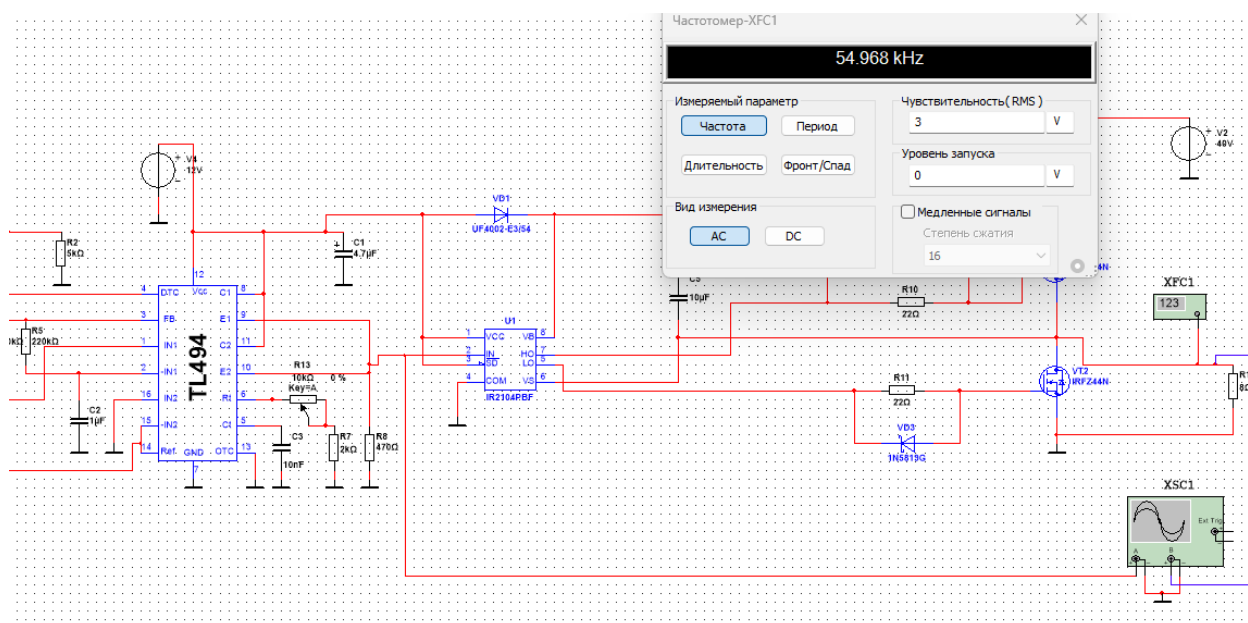


Рисунок 35 – Вихідна частота у початковому положенні реостату

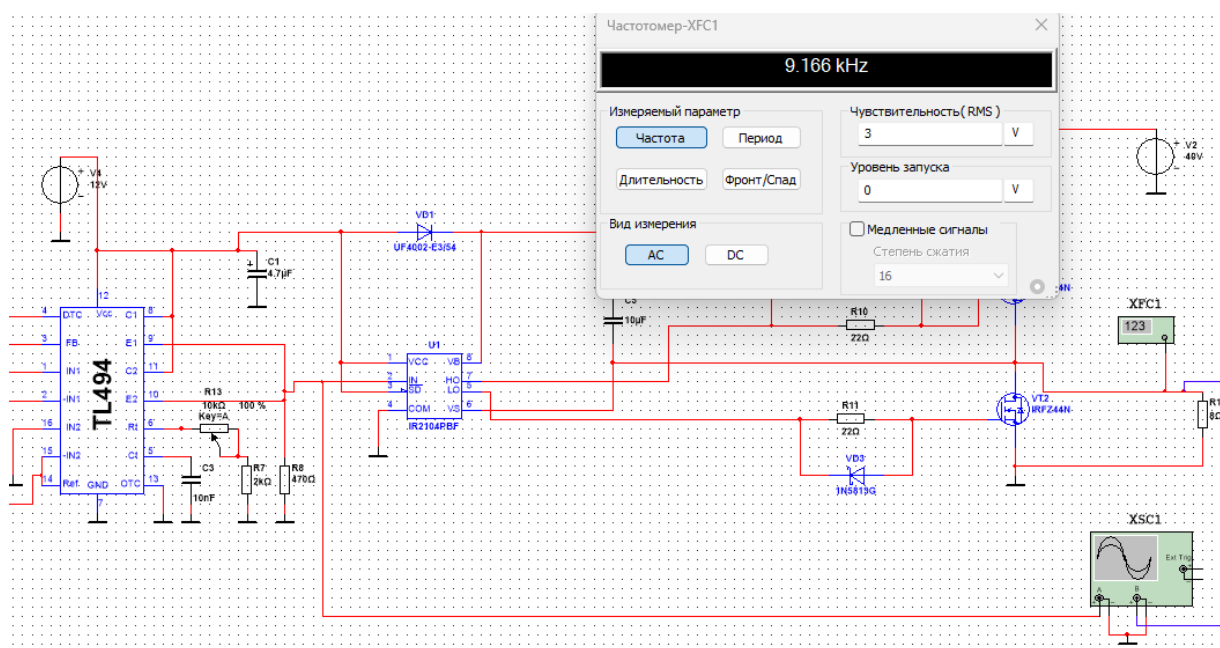


Рисунок 36 – Вихідна частота у крайньому положенні реостату

Таким чином, шляхом моделювання показано працездатність пристрою, а також виявлено діапазон вихідної частоти - від 9,166 кГц до 54,968 кГц, який цілком задовольняє поставлені задачі.

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ

Основними компонентами друкованого вузла є друкована плата, навісні та установчі елементи. На складальному кресленні вузла електрорадіоелементи зображуються спрощено зовнішніми обрисами. При розміщенні позиційних позначень на кресленні для елементів, що входять до складу принципової електричної схеми, використовується позначення, присвоєне елементу в схемі.

Установка навісних елементів на друкованій платі відповідно до ДСТУ 2779-94 [14] проводиться в спеціальні отвори друкованої плати. При цьому стандарт передбачає певні параметри для формованих висновків:

- мінімальний розмір від корпусу елемента до центру кола вигину при формуванні висновків становить 1 мм.

При розміщенні елементів на друкованій платі слід дотримуватися наступних правил:

- кожен висновок елемента повинен бути встановлений в окреме монтажний отвір;

- елементи, що встановлюються в монтажні отвори, переважно розташовуються з одного боку друкованої плати.

Сторона 1 друкованої плати показана на рис. 37, сторона 2 - рис. 38, складальне креслення – рис. 39.

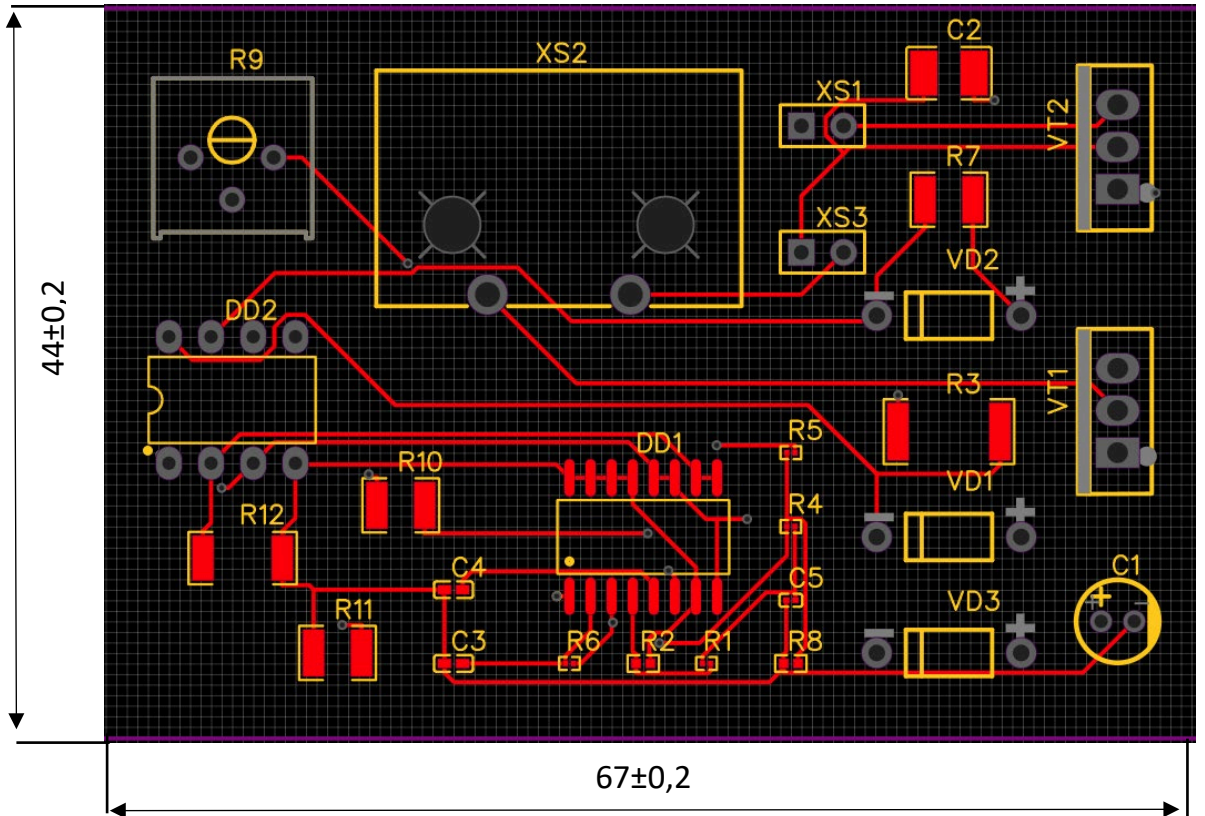


Рисунок 37 – Друкована плата (сторона 1)

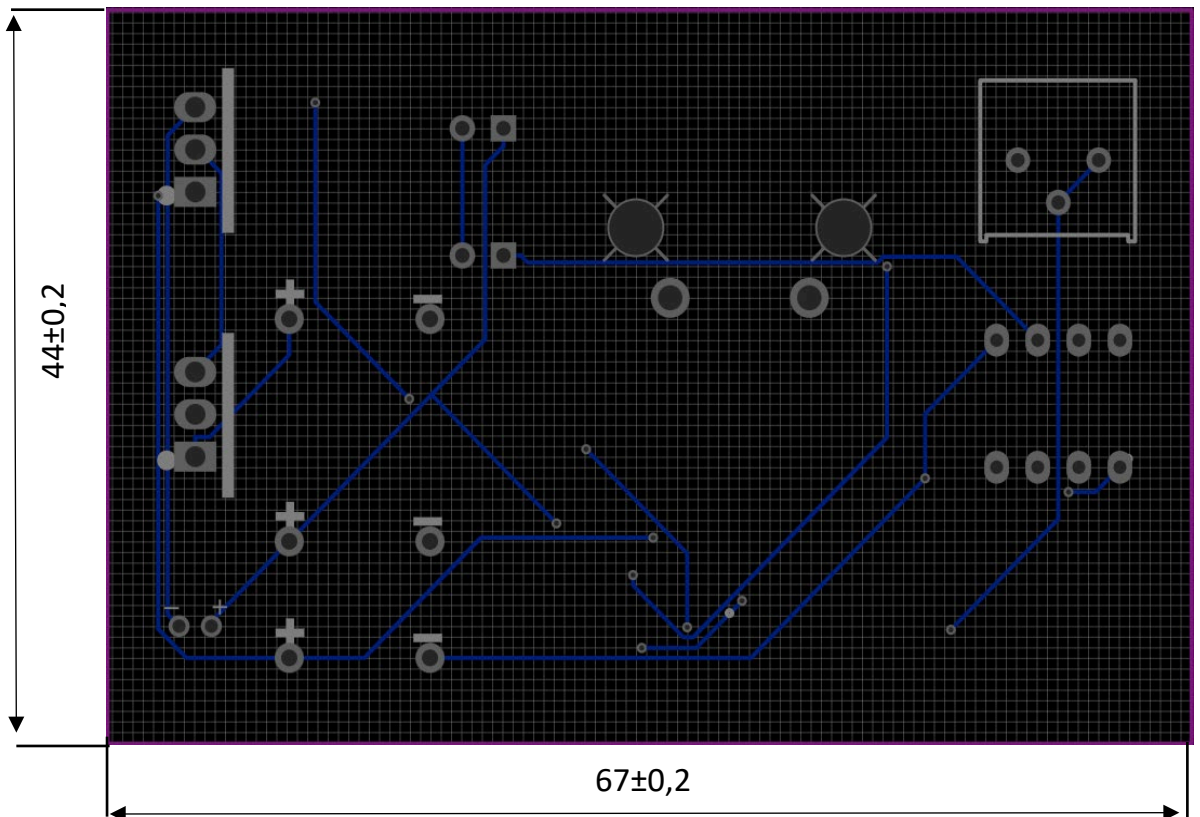


Рисунок 38 - Друкована плата (сторона 2)

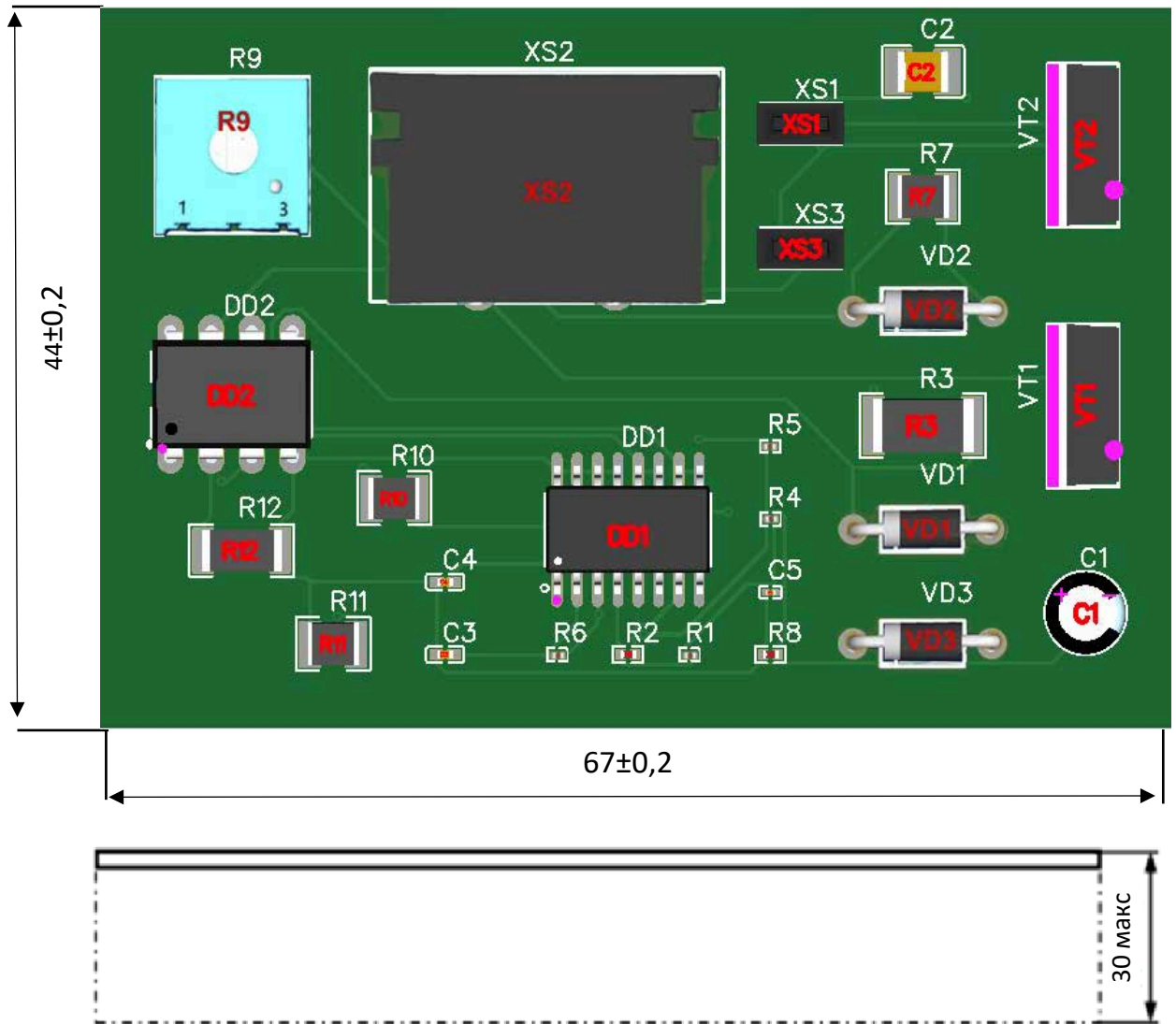


Рисунок 39 – Складальне креслення

5 ВИБІР УМОВ ОХОЛОДЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ

В процесі експлуатації електронного приладу критично важливо підтримувати температуру його елементів в межах допустимих значень, встановлених технічними умовами. Для досягнення необхідних температурних режимів в процесі конструювання застосовуються відповідні системи охолодження і раціональна компоновка елементів.

Вибір системи охолодження здійснюється на основі аналізу графіків, які відображають оптимальне застосування різних методів охолодження в залежності від умов експлуатації. Оцінка ефективності проводиться з урахуванням попередніх даних про тепловому потоці, що надходить на одиницю площі теплообміну, відповідно до формули (3)

$$p = \frac{P \times k_p}{S_{\Pi}} \quad (3)$$

де P – сумарна розсіювальна потужність електронного пристрою;

k_p – коефіцієнт, що враховує тиск повітря ($k_p = 1$);

S_{Π} – поверхня теплообміну, що визначається геометричними розмірами корпусу електронного пристрою.

$$P = \sum p_i \quad (4)$$

де p_i – потужність кожного елементу окремо.

Коефіцієнт нагріву визначаємо за формулою:

$$K_H = P_i / P_{\text{НОМ}} \quad (5)$$

Таблиця 11 – Розрахунок сумарної розсіювальної потужності електронного пристрою

Елемент	P_i , Вт	$P_{ном}$, Вт	t_{max}	$t_{нс}$	Δt	Розміри	K_n
R1	0,00111	0,05	125°C	45°C	80°C	0,6*0,3*0,23	0,222
R2	0,00056	0,0625	155°C	45°C	110°C	1,0*0,5*0,35	0,009
R3	0,000007	1	155°C	45°C	110°C	6,4*3,2*0,7	0,00001
R4	0,00011	0,05	125°C	45°C	80°C	0,6*0,3*0,23	0,002
R5	0,00003	0,05	125°C	45°C	80°C	0,6*0,3*0,23	0,0006
R6	0,00004	0,05	125°C	45°C	80°C	0,6*0,3*0,23	0,0008
R7	0,0016	0,5	155°C	45°C	110°C	3,1*2,6*0,55	0,0032
R8	0,00003	0,0625	155°C	45°C	110°C	1,0*0,5*0,35	0,00048
R9	0,00091	0,5	125°C	45°C	80°C	9,5*9,5*10,41	0,00182
R10	0,001	0,5	155°C	45°C	110°C	3,1*2,6*0,55	0,002
R11	0,000367	0,5	155°C	45°C	110°C	3,1*2,6*0,55	0,000734
R12	0,107	0,75	155°C	45°C	110°C	5,0*2,5*0,55	0,143
VD1	0,000145	-	175°C	45°C	130°C	5,1*2,6	0,000145
VD2	0,000180	-	125°C	45°C	130°C	4,1*2	0,000180
VD3	0,000210	-	125°C	45°C	130°C	4,1*2	0,000210
VT1	0,276	87	175°C	45°C	130°C	9,6*15*4,3	0,0032
VT2	0,01	87	175°C	45°C	130°C	9,6*15*4,3	0,0001
DD1	0,096	-	150°C	45°C	105°C	10*4*1,75	0,096
DD2	0,012	-	150°C	45°C	105°C	5*4*1,75	0,012

$$P = \sum P_i = 0,496944 \text{ Вт}$$

$S_{\Pi} = 2[l_1 l_2 + (l_1 + l_2) l_3 k_3]$ (6) – поверхня теплообміну, обумовлена геометричними розмірами корпусу електронного пристрою, тобто довжиною

l_1 , шириною l_2 основи пристрою і його висотою l_3 , а також коефіцієнтом заповнення об'єму k_3 .

Таблиця 12 – Розрахунок площі корпусу та нагрітої поверхні елементів

	l_1	l_2	l_3	S_{Π}
Корпус	0,067	0,044	0,03	0,002474
R1	0,0006	0,0003	0,00023	0,0000008
R2	0,001	0,0005	0,00035	0,0000021
R3	0,0064	0,0032	0,0007	0,0000544
R4	0,0006	0,0003	0,00023	0,0000008
R5	0,0006	0,0003	0,00023	0,0000008
R6	0,0006	0,0003	0,00023	0,0000008
R7	0,0031	0,0026	0,00055	0,0000224
R8	0,001	0,0005	0,00035	0,0000021
R9	0,0095	0,0095	0,01041	0,0005761
R10	0,0031	0,0026	0,00055	0,0000224
R11	0,0031	0,0026	0,00055	0,0000224
R12	0,005	0,0025	0,00055	0,0000333
VT1	0,0096	0,015	0,0043	0,0004996
VT2	0,0096	0,015	0,0043	0,0004996
DD1	0,01	0,004	0,00175	0,0001290
DD2	0,05	0,004	0,00175	0,0005890
	h	r	S_{Π}	
VD1	0,0051	0,0026	0,0000523	
VD2	0,0041	0,002	0,0001314	
VD3	0,0041	0,002	0,0001314	

S_{Π} для елементів R1-R12, VT1, VT2, DD1, DD2 та корпусу розраховується за формулою:

$$S_{\Pi} = 2[l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2) \cdot l_3] \quad (7)$$

S_{Π} для елементів VD1-VD3 обчислюється за допомогою формули:

$$S_{\Pi} = 2 \pi R(R + h) \quad (8)$$

Таблиця 13 – Результати розрахунку $\lg P$

$\sum P_i$	S	P	$\lg P$
0,397317	0,002474	160,59701	2,20574

Згідно графіків, розташованих в методичних вказівках [15] до курсового проекту впливає, що найбільш доцільно застосовувати природне повітряне охолодження.

У теплофізичному відношенні електронний пристрій являє собою складну систему з великою кількістю джерел тепла складної форми. Розрахунок теплового режиму шляхом складання і рішення повної системи рівнянь теплообміну надзвичайно складно, тому на практиці цю задачу вирішують приблизно, приймаючи ряд спрощень.

Найбільше поширення одержала модель електронного пристрою, що представляє собою розташовану в герметичному або перфорованому корпусі нагріту зону – тіло із ізотермічною поверхнею простої форми (паралелепіпед).

У залежності від конструкції електронного пристрою в ньому можуть бути виділені не одна, а кілька нагрітих зон (наприклад, кожна з друкованих плат у блоці касетної конструкції може розглядатися як окрема нагріта зона).

Визначальними параметрами для розрахунку є питомі потужності розсіювання блоку пристрою в цілому p_k і нагрітої зони p_z відповідно:

$$p_k = P_o / S_k, \quad (9)$$

$$p_3 = P_0/S_3, \quad (10)$$

де P_0 – потужність, що розсіюється пристроєм; S_K - площа поверхні корпусу пристрою; S_3 - умовна поверхня нагрітої зони.

У свою чергу площа поверхні корпусу пристрою й умовна поверхня нагрітої зони визначаються за формулами

$$S_K = 2[l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2) \cdot l_3], \quad (11)$$

$$S_3 = 2[l_1 \cdot l_2 + (l_1 + l_2) \cdot l_3 \cdot k_3], \quad (12)$$

У загальному випадку перегрів корпусу герметичного електронного пристрою, що працює в нормальних кліматичних умовах, щодо навколишнього середовища визначається залежністю

$$\theta_1 = 0,1472 p_K - 0,2962 \cdot 10^{-3} \cdot p_K^2 + 0,3127 \cdot 10^{-6} \cdot p_K^3. \quad (13)$$

Перегрів нагрітої зони визначається аналогічною залежністю:

$$\theta_2 = 0,1390 p_3 - 0,1223 \cdot 10^{-3} \cdot p_3^2 + 0,0698 \cdot 10^{-6} \cdot p_3^3. \quad (14)$$

Зміна атмосферного тиску зовні корпусу впливає на перегрів корпусу пристрою щодо температури навколишнього повітря, а усередині корпусу – на перегрів нагрітої зони щодо температури корпусу пристрою. Виходячи з цього, перегрів нагрітої зони в загальному випадку визначається як :

$$\theta_3 = \theta_1 \cdot K_{H1} + (\theta_2 - \theta_1) \cdot K_{H2}, \quad (15)$$

За формулою (15) перший доданок $\theta_1 \cdot K_{H1}$ являє собою перегрів корпусу $\theta_{до}$, тобто

$$\theta_1 \cdot K_{H1} = \theta_K; \quad (16)$$

коефіцієнт K_{H1} залежить від тиску повітря зовні пристрою:

$$K_{H1} = 0,82 + 1/(0,925 + 4,6 \cdot 10^{-5} \cdot H_1), \quad (17)$$

а коефіцієнт K_{H2} залежить від тиску середовища усередині пристрою:

$$K_{H2} = 0,80 + 1/(1,25 + 3,8 \cdot 10^{-6} \cdot H_2), \quad (18)$$

де H_1 і H_2 - атмосферний тиск, МПа, зовні і усередині пристрою відповідно

За отриманими даними визначаються:

- перегрів повітря в блоці (пристрої)

$$\theta_{\Pi} = 0,5 (\theta_{\Pi} + \theta_3), \quad (19)$$

- середня температура повітря в блоці (пристрої)

$$T_{\Pi} = \theta_{\Pi} + T_c, \quad (20)$$

- температура корпусу блока (пристрою)

$$T_k = \theta_k + T_c, \quad (21)$$

- температура нагрітої зони

$$T_3 = \theta_3 + T_c, \quad (22)$$

де T_c – температура навколишнього середовища.

Температурний режим окремих теплонавантажених елементів залежить від питомої потужності елемента, що розсіюється, $p_{ел} = P_{ел} / S_{ел}$ (23) і питомої потужності нагрітої зони p_3 . Виходячи з цього, перегрів поверхні елемента визначається залежністю

$$\theta_{ел} = \theta_3 \cdot (0,75 + 0,25 p_{ел} / p_3), \quad (24)$$

а перегрів середовища, що навколо елемента

$$\theta_{ес} = \theta_{\Pi} \cdot (0,75 + 0,25 p_{ел} / p_3). \quad (25)$$

Залежності (15-18) дійсні для $0 \leq p_3 \leq 600 \text{ Вт/м}^2$; $0 \leq p_k \leq 400 \text{ Вт/м}^2$; $700 \leq H \leq 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

З використанням результатів (24) і (25) температура поверхні елемента визначиться за формулою:

$$T_{\text{ел}} = \theta_{\text{ел}} + T_{\text{с}}, \quad (26)$$

а температура середовища навколо елемента

$$T_{\text{ес}} = \theta_{\text{ес}} + T_{\text{с}}, \quad (27)$$

Таблиця – 14 Розрахунок питомої потужності розсіювання корпусу пристрою

$P_0 = \sum p_i$	k_p	S_k	$\sum p_i$	$p_k = P_0 \cdot k_p / S_k$
0,397317	1,00000	0,002474	0,397317	<u>160,5970</u>

Таблиця – 15 Розрахунок площі поверхні нагрітої зони

l_1	l_2	l_3	$l_1 \cdot l_2$	$(l_1 + l_2) \cdot l_3$	S_3
0,067	0,044	0,016	0,002948	0,001776	<u>0,009448</u>

Таблиця – 16 Розрахунок питомої потужності нагрітої зони пристрою

$P_0 = \sum p_i$	k_p	S_3	$\sum p_i$	$p_3 = P_0 \cdot k_p / S_3$
0,397317	1,00000	0,009448	0,397317	<u>42,05302</u>

Таблиця – 17 Розрахунок перегріву корпусу герметичного електронного пристрою

$0,1472 \cdot p_k$	$0,2962 \cdot 10^{-3} p_k^2$	$0,3127 \cdot 10^{-6} p_k^3$	θ_k
23,64	-7,639	1,295	<u>17,296</u>

Таблиця – 18 Розрахунок перегріву нагрітої зони герметичного електронного пристрою

$0,1390 \cdot p_z$	$0,1223 \cdot 10^{-3} p_z^2$	$0,0698 \cdot 10^{-6} p_z^3$	θ_z
5,845	-0,216	0,005	<u>5,634</u>

Таблиця – 19 Розрахунок температури нагрітої зони при температурі навколишнього середовища $+45^{\circ}\text{C}$

$\theta_{п}$	$T_{п}$	T_k	T_z
11,465	56,465	62,296	<u>50,634</u>

Таблиця – 20 Розрахунок теплового режиму резисторів R1-R7

Ел.	$P_{рез}$	$S_{рез}$	$p_{рез}$	$p_з$	$\theta_з$	$\theta_{рез}$	$\theta_{рез-сер}$	$T_{рез-сер}$	$T_{рез}$
R1	0,00111	0,000000 8	1387, 5	42,0530 2	5,63 4	50,69764	111,950535 1	156,9 5	<u>95,70</u>
R2	0,00056	0,000002 1	266,6 7	42,0530 2	5,63 4	13,15719	29,0537179 9	74,05	<u>58,16</u>
R3	0,00000 7	0,000054 4	0,128 7	42,0530 2	5,63 4	4,22981	9,34026867 8	54,34	<u>49,23</u>
R4	0,00011	0,000000 8	137,5	42,0530 2	5,63 4	8,83085	19,5002782 5	64,50	<u>53,83</u>
R5	0,00003	0,000000 8	37,5	42,0530 2	5,63 4	5,48150	12,1042577 1	57,10	<u>50,48</u>
R6	0,00004	0,000000 8	50	42,0530 2	5,63 4	5,90017	13,0287602 7	58,03	<u>50,90</u>
R7	0,0016	0,000022 4	71,42 9	42,0530 2	5,63 4	6,61790	14,6136535 2	59,61	<u>51,62</u>
R8	0,00003	0,000002 1	14,28 6	42,0530 2	5,63 4	4,70399	10,3873455	55,39	<u>49,70</u>
R9	0,00091	0,000576 1	1,579 6	42,0530 2	5,63 4	4,27841	9,44757754 1	54,45	<u>49,28</u>
R1 0	0,001	0,000022 4	44,64 3	42,0530 2	5,63 4	5,72075	12,6325554 5	57,63	<u>50,72</u>
R1 1	0,00036 7	0,000022 4	16,38 4	42,0530 2	5,63 4	4,77426	10,5425140 1	55,54	<u>49,77</u>
R1 2	0,107	0,000033 3	3213, 2	42,0530 2	5,63 4	111,8466 0	246,979682 2	291,9 8	<u>156,85</u>

Таблиця 21 – Розрахунок теплового режиму діодів

Ел.	P_d	S_d	p_d	$p_з$	$\theta_з$	θ_d	$\theta_{d-сер}$	$T_{d-сер}$	$T_{d.рез}$
VD 1	0,00014 5	0,000052 3	2,772	42,0530 2	5,63 4	4,3183 6	9,53580219 5	54,54	<u>49,32</u>
VD 2	0,00018 0	0,000131 4	1,37	42,0530 2	5,63 4	4,2713 8	9,43206535	54,43	<u>49,27</u>
VD 3	0,00021 0	0,000131 4	1,598	42,0530 2	5,63 4	4,2790 3	9,44895124 2	54,45	<u>49,28</u>

Таблиця 22 – Розрахунок теплового режиму транзисторів

Ел.	$P_{\text{транз}}$	$S_{\text{транз}}$	$r_{\text{транз}}$	r_z	θ_z	$\theta_{\text{транз}}$	$\theta_{\text{транз-сер}}$	$T_{\text{транз-сер}}$	$T_{\text{транз}}$
VT1	0,0096	0,0032	3	42,05302	5,63 4	4,3259 8	9,55263061 6	54,55	<u>49,33</u>
VT2	0,0096	0,0001	96	42,05302	5,63 4	7,4408 7	16,4309297 3	61,43	<u>52,44</u>

Таблиця 23 – Розрахунок теплового режиму мікросхем

Ел.	$P_{\text{мікр}}$	$S_{\text{мікр}}$	$r_{\text{мікр}}$	r_z	θ_z	$\theta_{\text{мікр}}$	$\theta_{\text{мікр-сер}}$	$T_{\text{мікр-сер}}$	$T_{\text{мікр}}$
DD1	0,096	0,096	1	42,0530 2	5,634	4,2589 9	9,40471020 5	54,40	<u>49,26</u>
DD2	0,012	0,012	1	42,0530 2	5,634	4,2589 9	9,40471020 5	54,40	<u>49,26</u>

Висновки:

1. Температура нагріву для всіх елементів крім R12 не перевищує максимально допустиму.

2. Методика теплового розрахунку для варіанта SMD не дає вірний результат тому, що умови охолодження для варіанта SMD значно кращі ніж для варіанта ТНТ.

6 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЮ

Для оцінки надійності пристрою використовується методика розрахунку на основі раптових експлуатаційних відмов, враховуючи відомі показники надійності його елементів. При розрахунку передбачається, що несправності елементів є статистично незалежними, і відмова будь-якого з них призводить до відмови всього пристрою.

Інтенсивність відмов пристрою визначається за формулою (28), що враховує умови експлуатації і характеристики кожного елемента.

$$\lambda_c = k_\lambda \times \sum_{i=1}^n a_i \times \lambda_{0i}, \quad (28)$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмови i -го елемента;

a_i - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив температури навколишнього середовища і електричне навантаження приладу;

$k_\lambda = k_{\lambda_1} \times k_{\lambda_2} \times k_{\lambda_3}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою;

k_{λ_1} - вплив механічних чинників ($k_{\lambda_1} = 1,07$);

k_{λ_2} - вплив кліматичних факторів ($k_{\lambda_2} = 1$);

k_{λ_3} - умови роботи при зниженому атмосферному тиску. ($k_{\lambda_3} = 1$).

Середній наробіток на відмову всього пристрою розраховуємо за формулою:

$$T_c = \frac{1}{\lambda_c} \quad (29)$$

Таблиця 24 – Розрахунок інтенсивності відмов

Елемент	α	λ_{oi}	n	$k_n(\text{рек})$	$\alpha\lambda_{oi}$
R1-R8, R10-R12	0,6	0,0000004	11	0,5	<u>0,00000264</u>
R9	0,6	0,0000005	1	0,5	<u>0,0000003</u>
C1 (ел)	0,64	0,0000009	4	0,5	<u>0,000000576</u>
C2-C5	0,8	0,0000006	4	0,6	<u>0,00000192</u>
VD1	0,97	0,0000006	1	0,5	<u>0,000000582</u>
VD2, VD3	0,97	0,0000007	2	0,5	<u>0,000001358</u>
VT1, VT2	0,72	0,0000015	2	0,8	<u>0,00000216</u>
DD1, DD2	0,5	0,000001	2	1	<u>0,000001</u>

Таблиця 25 – Розрахунок надійності середнього наробітку на відмову

Σ	$k_{\lambda 1}$	$k_{\lambda 2}$	$k_{\lambda 3}$	k_{λ}	$\lambda_c = k_{\lambda} \cdot \Sigma$	$T_c,$ годин	$T_c,$ добы	$T_c,$ років
0,000010536	1,07	1	1,1	1,177	$1,24009 \cdot 10^{-5}$	80639,5	3360	<u>220,9</u>

Відповідно до розрахунку середній наробіток на відмову приладу складає 80639,5 годин.

ВИСНОВКИ

У сфері бджільництва, де Україна займає провідне становище, існують серйозні проблеми, включаючи вароатоз, який є основною загрозою для цієї галузі. Незважаючи на різноманітність методів боротьби з цим захворюванням, відображених в численних патентах, проблема залишається актуальною.

У даній роботі представлений інноваційний метод контролю за кліщем вароа, заснований на використанні короткочасного впливу акустичними коливаннями на бджіл і кліщів. Для цього застосовується спеціальний прилад, що включає генератор, підсилювач потужності і акустичний випромінювач, здатний створювати коливання в діапазоні частот від 9,166 кГц до 54,968 кГц з потужністю до 20 Вт.

Проведене дослідження, шляхом моделювання, підтвердило здатність запропонованого приладу виконувати поставлену задачу. Такий підхід не тільки сприяє зниженню шкоди, заподіяної вароатозом, але і дозволяє використовувати енергоефективні джерела живлення, такі як сонячні панелі, що особливо важливо для пасік, віддалених від централізованих енергомереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бджільництво в Україні [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Бджільництво_в_Україні [Дата звернення: 11.03.2024].
2. Способ борьбы с варроатозом пчел с использованием вибрационных воздействий: пат. 2324341 РФ. № 2006118238/12; заявл. 18.05.2006; опубл. 20.05.2008 Бюл. № 14.
3. Кліщ варроа: біологія, способи боротьби [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://poradum.com/sad-i-gorod/doglyad-za-bdzholami/klissh-varroa-biologiya-sposobi-borotbi.html> [Дата звернення: 11.03.2024].
4. Варроатоз пчел : рекомендации / Е. Ф. Садовникова, В. Н. Гиско, С14 Е. М. Панькив. - Витебск : ВГАВМ, 2019. - 32 с.
5. Меры борьбы с варроатозом пчёл [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.apeworld.ru/1349843051.html> [Дата звернення: 11.03.2024].
6. Клещ убивающий пчёл [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://biomolecula.ru/articles/klleshch-ubivaiushchii-pchel> [Дата звернення: 11.03.2024].
7. Препарат "Бипин-Т" для борьбы з варроатозом пчел: пат. 2145476С1 РФ. № 98108538/13; заявл. 13.05.1998; опубл. 20.02.2000, Бюл. № 5.
8. Заградительная ульевая решетка: пат. 2024224С1 РФ. № 5058564/15; заявл. 13.08.1992; опубл. 15.12.1994.
9. Способ борьбы с варроатозом пчел с использованием вибрационных воздействий: пат. 2324341 РФ. № 2006118238/12; заявл. 18.05.2006; опубл. 20.05.2008 Бюл. № 14.
10. Varroa Killer Sound im Test [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.immelieb.de/nachgedacht/varroa-killer-sound-vks/varroa-killer-sound/> [Дата звернення: 11.04.2024].
11. TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2303021230_Texas-Instruments-

- TL494CNSR_C163519.pdf?_gl=1*baz4i7*_ga*MTA3OTYxODY0MS4xNzEyNjU5MTY1*_ga_98M84MKSZH*MTcxNjQ4MjE4OS4xNy4wLjE3MTY0ODIxOTMuNTYuMC4w [Дата звернення: 11.04.2024].
12. Data Sheet No. PD60046-S [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2304140030_Infineon-Technologies-IR2104PBF_C2959.pdf?_gl=1*1hwpaov*_gcl_au*MTc4MDQ0OTc5LjE3MTI2NTkyNTc.*_ga*MTA3OTYxODY0MS4xNzEyNjU5MTY1*_ga_98M84MKSZH*MTcxODYzNTQwMS4yOS4wLjE3MTg2MzU0MDIuNTkuMC4w [Дата звернення: 15.04.2024].
13. SSP500 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://audac-sound.ru/media/files/item/22/tehnicheskieharakteristikien.pdf> [Дата звернення: 12.12.2023].
14. ДСТУ 2779-94. Монтаж електричний радіоелектронної апаратури та приладів. Загальні технічні вимоги до формування висновків і до установки виробів електронної техніки на друковані плати.
15. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Основи конструювання та технології електронних пристроїв» / Укл: Ю. Е. Паеранд - Северодонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2019. 64 - с.