

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра теоретичної електротехніки

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 Островерхов М.Я.

«16» 01 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Електротехнічні пристрої та
електротехнологічні комплекси»**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

**на тему: «Автоматизація електротехнологічного комплексу зварювання
акумуляторних батарей»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕВ-21 мп

Циганков Руслан Сергійович

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук

Халімовський Олексій Модестович

Рецензент:

Доцент к. т. н.

Проценко Олександр Ростиславович

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра теоретичної електротехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Островерхов М.Я.

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Циганков Руслан Сергійович

1. Тема дисертації **«Автоматизація електротехнологічного комплексу зварювання акумуляторних батарей»**, науковий керівник дисертації канд. техн. наук Халімовський Олексій Модестович , затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5131-С
2. Термін подання студентом дисертації 05.01.2024 р.
3. Об'єкт дослідження: процес зварювання з використанням точкового зварювальника конденсаторного типу.
4. Вихідні дані: точковий зварювальник іоністорного типу виробника AGOL. Напруга конденсаторів: до 5,8 В. Ємність: 3000 Ф. Рекомендована робоча напруга: $5 \pm 0,5$ В. Номінальний струм зварювання: 1200 А. Потужність точкового зварювальника: 6600 Вт. Час відкриття та закриття силових ключів: від 5 до 30 мілісекунд. Блок зарядки: напруга $5 \pm 0,5$ В, струм 3 А. Охолодження: активне повітряне.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Провести аналіз наявних рішень по використанню точкових зварювальників, що присутні на ринку. Експериментально дослідити режими зварювання акумуляторів у батареї. За результатами проведених досліджень оцінити ефективність режимів точкового зварювання акумуляторів у блоки для визначення шляхів автоматизації основних вузлів електротехнологічного комплексу. Надати рекомендації щодо впровадження отриманих результатів.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 12 слайдів презентації за матеріалами дисертації.
7. Орієнтовний перелік публікацій: Аналіз та дослідження особливостей процесу зварювання блоку акумуляторних елементів.
8. Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.2023	
2	Аналіз предметної області та постановка задачі	01.10.2023	
3	Бібліографічний аналіз з напрямку досліджень	01.11.2023	
4	Опис загальних відомостей про точковий вид зварювання	20.11.2023	
5	Розробка моделі технічного процесу та виробленої збірки	01.12.2023	
6	Підготовка та проведення експериментальних досліджень Аналіз результатів	10.12.2023	
7	Розробка стартап проєкту	15.12.2023	
8	Оформлення дисертації	20.12.2023	
9	Оформлення реферату та презентації	25.12.2023	
10	Попередній захист МД	28.12.2023	

Студент _____

Циганков Руслан Сергійович

Науковий керівник _____

Халімовський Олексій Модестович

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг роботи. Магістерська містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка розроблена на 91 аркуші формату А4, яка включає 50 рисунків, 14 таблиць та 10 джерел використаної літератури, 2 додатка з 6 рисунками.

Актуальність теми.

Акумуляторні батареї є важливими компонентами для сучасних систем живлення, електромобілів, портативних пристроїв та інших сфер застосування. Існує постійний попит на вдосконалення якості акумуляторних батарей, а також зменшення витрат на їх виробництво. Одним із ключових аспектів у виробництві акумуляторних батарей є точкове зварювання, яке вимагає високої якості та повторюваності процесу зварювання. З цієї причини автоматизація вузлів електротехнологічного комплексу для точкового зварювання акумуляторних батарей є актуальною задачею в сучасному виробництві.

Мета дослідження.

Метою дослідження магістерської роботи є підвищення ефективності процесу виготовлення акумуляторних блоків шляхом автоматизації роботи вузла зварювання електротехнологічного комплексу.

Об'єкт дослідження: Об'єктом дослідження є процес зварювання акумуляторних батарей з метою покращення ефективності та якості точкового зварювання.

Предмет дослідження: є вузол зварювання електротехнологічного комплексу, його параметри.

Методи дослідження. У роботі використовуються наступні методи досліджень: інструментальні, аналітичного розрахунку, комп'ютерного моделювання, експериментальних досліджень.

Наукова новизна та практичне значення. Визначено наявність залежності параметрів режиму точкового зварювання на якість зварного з'єднання. Розроблено проєкт системи автоматичного керування вузла зварювання електротехнологічного комплексу у програмному середовищі Arduino IDE.

Практичне значення полягає в можливості використання отриманих результатів для підвищення конкурентоспроможності підприємств в сфері виробництва акумуляторних батарей.

Отримані результати передбачають проведення нових досліджень процесу точкового зварювання для підвищення ефективності роботи електротехнологічного комплексу.

Ключові слова: АПАРАТ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ, АКУМУЛЯТОРНА ЗБІРКА, ТОЧКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЕЛЕМЕНТИ БАТАРЕЇ, СИЛОВИЙ КЛЮЧ.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The master's thesis contains an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is developed on 91 sheets of A4 format, which includes 50 figures, 14 tables and 10 sources of used literature, 2 appendices with 6 figures.

Relevance of the topic.

Accumulator batteries are important components for modern power systems, electric vehicles, portable devices and other fields of application. There is a constant demand for improving the quality of rechargeable batteries, as well as reducing the costs of their production. One of the key aspects in battery production is spot welding, which requires high quality and repeatability of the welding process. For this reason, the automation of the nodes of the electrotechnological complex for spot welding of batteries is an urgent task in modern production.

The purpose of the study.

The goal of the research of the master's work is to increase the level of automation of the welding unit of the electro-technological complex.

Subject of research: there is a welding unit of an electrotechnological complex, its parameters.

Research methods. The following research methods are used in the work: instrumental, analytical calculation, computer modeling, experimental research.

Scientific novelty and practical significance. The scientific novelty of this master's thesis lies in the approach to the issue of automating the welding unit of the electrotechnological complex by programming the latest microcontroller. The flexibility of the newly created system creates new areas of research in the field of welding battery assemblies.

This work provides an opportunity to investigate the implementation of modern technologies in the process of spot welding of batteries in order to improve quality and productivity, and reduce costs. The practical significance lies in the possibility of using the results obtained during experiments to increase the competitiveness of enterprises in the field of battery production.

Keywords: SPOT WELDING APPARATUS, BATTERY ASSEMBLY, SPOT WELDING, BATTERY ELEMENTS, POWER WRENCH.

Зміст

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	11
ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗВАРЮВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....	13
1.1 Теоретичні відомості про точкове зварювання	13
1.1.1 Вплив точкового зварювання на елементи батареї.....	16
1.2 Опис технологічного процесу виготовлення акумуляторних збірок ...	17
1.3 Визначення вузлів оптимізації електротехнологічного комплексу Ошибка! Закладка не определена.	
1.4 Основні чинники, що впливають на функціонування електротехнологічного комплексу зварювання батареї акумуляторів	21
Висновки по Розділу 1	22
РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ	24
2.1 Визначення параметрів збірки для точкового зварювання.....	24
2.2 Підготовка до проведення дослідів. Огляд та аналіз обладнання.....	28
2.2.1 Обладнання для проведення дослідів	28
2.2.2. Підготовка до проведення дослідів	35
Висновок до розділу 2	37
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	38
3.1 Проведення експерименту із метою дослідження вузла зварювання ЕТК.....	38
3.2 Проведення аналітичного методу дослідження ЕТК зварювання.....	51
Висновки по Розділу 3	55
РОЗДІЛ 4 ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЗЛА ЗВАРЮВАННЯ ПРИ ЗАМІНІ ПЛАТИ КОНТРОЛЮ ТА СИЛОВИХ КЛЮЧІВ.....	566
4.1 Дослідження функціонування вузла зварювання при зміні плати контролю.....	56
4.2 Дослідження показників режиму зварювання при заміні силових ключів.....	688

Висновки до розділу 4.....	755
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	766
5.1 Опис ідеї проєкту.....	76
5.2 Аудит технологічних можливостей компанії	77
5.3 Аналіз ринкової можливості старту проєкту	79
5.4. Пророблення стратегії виходу на ринок.	82
5.5. Маркетингова програма стартап-проєкту	84
Висновок до розділу 5.....	87
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ДИСЕРТАЦІЇ	88
Перелік використаних джерел	90
Додаток А: Коментарі до Розділу 2	92
Додаток Б Коментарі до Розділу 3	93

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЕТК – Електротехнологічний комплекс;

AI – Artificial Intelligence;

GPIO – General-Purpose Input/Output;

IoT – Internet of Things.

ВСТУП

Акумуляторні батареї визнані ключовим елементом в енергетичній інфраструктурі сучасного світу. Вони забезпечують живлення електромобілів, роботів, портативних електронних пристроїв та багатьох інших застосувань. Враховуючи постійне зростання попиту на акумуляторні батареї, збільшення ефективності їх виробництва та забезпечення високої якості стають пріоритетними завданнями в галузі.

Подальший розвиток автоматизації технологічних процесів в галузі виробництва акумуляторних батарей є кроком вперед у створенні більш стійких, ефективних та екологічно чистих енергетичних рішень для сучасного світу і в рази поліпшить умови роботи технічного персоналу.

Одним із важливих етапів у виробництві акумуляторних збірок є точкове зварювання, яке використовується для з'єднання компонентів батареї. Цей процес вимагає високої точності позиціювання та якості для забезпечення довговічності та надійності батареї.

Автоматизація процесу точкового зварювання акумуляторних збірок є важливим напрямком для виробників у цій галузі, тому дослідження цього процесу для визначення можливостей і шляхів підвищення ефективності зварювальних з'єднань при виготовленні акумуляторних блоків шляхом автоматизації роботи вузла зварювання електротехнологічного комплексу є актуальним.

Проведені дослідження дозволяють підвищити ефективність виробництва, знизити витрати та забезпечити високу якість зварювання.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗВАРЮВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

1.1 Теоретичні відомості про точкове зварювання

Точкове зварювання є найстарішим і широко використовуваним методом зварювання в автомобільній промисловості. Одна з переваг даного методу є те, що він не потребує наповнювачів або газів і легко автоматизувати для промислового виробництва. Це відносно дешевий і водночас швидкий процес зварювання, де за короткий час може бути досягнутий хороший рівень контролю якості.

Недоліком цього методу є те, що він не настільки корисний для високопровідних матеріалів та точковим зварюванням важко з'єднати більше двох шарів. Якість зварних швів також часто важко перевірити та дослідити через розташування зварного шва між зварювальними елементами. Якість зварного шва може відрізнитись через жорсткість поверхні та помилки, що виникають при роботі зварювання. Залипання електродів є також поширеною проблемою для точкового зварювання, в таких випадках матеріал може прилипнути до кінчика електрода що завадить подальшому зварюванню.

Вибір електродного сплаву визначається матеріалом, що зварюється, і бажаним ефектом зварювання. Використовувані електроди повинні мати електричну провідність та теплопровідність вищу, ніж у зварювальному матеріалі, щоб електрод не нагрівався. Тому метод точкового зварювання не підходить для зварювання високопровідних матеріалів. На основі даних Асоціації Виробників Контактного Зварювання за визначенням типів виділяють три основні групи металів та сплавів:

- група А – в основному сплави на основі міді;
- група В - тугоплавкі метали та композити з тугоплавких металів;

- група С - спеціальні сплави наприклад, як дисперсійно зміцнена мідь.

Найбільш часто використовуваним матеріалом для електродів є сплави на основі міді. Металеві стрічки, що використовуються для з'єднання акумуляторів за допомогою точкового зварювання, виготовляються з різноманітних матеріалів. До них відносяться наступні: сталь, нікель, мідь і алюміній. Проте, алюміній і мідь може виявитися складним для зварювання точковим методом через їх високу теплопровідність та електропровідність.

Два провідні матеріали, які часто використовуються для з'єднання акумуляторних збірок – це сплави на основі нікелю та сталі. Товщина стрічок, що використовуються при зварюванні, повинна бути менше 0,4 мм для нікелю і менше 0,3 мм для стрічок зі сплавів на основі сталі. Це пов'язано з провідністю матеріалу, яка стає занадто великою, якщо ці товщини перевищувати. Стрічки, що мають більші товщини за параметри вказані вище – мають занадто велику провідність, яка обмежить струм від досягнення підкладки та призведе до поганого зварювання. Якості поганого зварювання включають в себе слабку адгезію та погану провідність, які часто є результатом занадто малого зварного шару. Тоді рішенням має бути збільшення розміру зварного шва, однак точковий метод зварювання має труднощі з виробництвом відносно великих елементів і типового розміру осередків коливається від 0,9 до 2,0 мм.

Розмір зварювального елемента залежить від діаметра електрода, час проходження піку та пікового струму. Якщо провідний струм занадто низький або проводився занадто короткий час, згенерованого тепла буде недостатньо, щоб розплавити матеріали та сплавити разом. І навпаки, перегрів матеріалів може виникнути, якщо надто високий струм подається протягом тривалого пікового часу. Адекватних результатів можна досягти шляхом збалансування пікового часу та пікового струму, але з'єднання все одно буде відносно слабким та низької якості.

Три основні параметри процесу точкового зварювання, які змінюються, це час зварювання, струм зварювання та сила, що діє на електрод. Час зварювання під час точкового зварювання дуже короткий, варіюється від мікро та мілісекунд. Занадто короткий час зварювання або низький прикладений тиск електрода може спричинити недостатній контакт поверхні та призведе до поганого зварювання. З іншого боку, занадто довге зварювальний час або надмірний прикладений тиск електрода може виділити занадто багато тепла та деформувати зразок, що зварюється. Це може призвести до загорання металу, який пошкодить кінчики електродів і залишить слід від проплавлення між точками дотиків електродів для зварювання. Щоб досягти найкращих результатів зварювання, рекомендується почати з використання найкоротшого часу зварювання, а потім поступово збільшувати його, періодично перевіряючи якість зварювання.

Струм, необхідний для зварювання, залежить від опору. Зменшення опору вимагає збільшення струму, і навпаки. Занадто високий зварювальний струм також може спричинити утворення тріщин і зварних пустот, що може знизити міцність на розрив. Сила зварювання також прикладається кінчиком електрода. Ця сила забезпечує більш стабільне з'єднання між електродом і робочим металом протягом усього процесу зварювання. Занадто велике зусилля може спричинити деформацію, яка не тільки збільшить площу з'єднання, але й викривить матеріал. Недостатня сила зварювання може спричинити іскріння металу та погану якість проварювання.

Якість зварних швів, створених за допомогою точкового методу, дозволяє досягти високої надійності завдяки автоматизації процесів та виведення їх на роботизований рівень. Точковий метод зварювання вже давно використовується, як технологія з'єднання в акумуляторній промисловості. Однак, якість зварних швів, що отримані за допомогою точкового методу часто важко дослідити через розташування зварного шва між зварюваними матеріалами. Якість зварних швів

може відрізнятись через виникнення непередбачуваних збурень в процесі зварювання. Однак можна контролювати такі параметри процесу, як напруга, струм, динамічний опір і температура листа. Моніторинг цих параметрів дає змогу оцінити якість зварного шва.

1.1.1 Вплив точкового зварювання на елементи батареї

Точкове контактне зварювання часто є кращим методом з'єднання літій-іонних акумуляторів у акумуляторні блоки. Цей процес забезпечує міцні з'єднання з майже повним усуненням теплового впливу на з'єднувані заготовки протягом короткого часу. Додатковою перевагою є можливість з'єднання різних деталей, які часто значно відрізняються одна від одної за своєю геометрією [1].

Оскільки вплив тепла на елемент акумулятора короткий, кількість тепла, що передається в елемент, невелика. Це означає, що тепло залишається на поверхні, де воно швидко поглинається навколишньою атмосферою. Таким чином, метод зварювання має мінімальний вплив на батарею, оскільки в батареї немає каталітичних реакцій, викликаних теплом. З іншого боку, може виникнути деформація, якщо до електродів прикладається занадто велике зварювальне зусилля. Ця деформація може змінити розподіл температури та перешкодити струму проходити найкоротшим шляхом. Можливо, це призведе до посилення протікання струму в батарею, що спричинить передачу тепла до ядра батареї. В результаті зварювання погіршується через недостатню температуру в точках контакту. Однак сила зварювання також не може бути надто низькою. Слабка прикладена сила, а отже, і з'єднання, може спричинити виникнення легкої дуги, яка спричинить іскріння металу та призведе до поганого зварювання. Однак варто зауважити, що в такому разі не відбувається пошкодження акумуляторного елемента.

1.2 Опис технологічного процесу виготовлення акумуляторних збірок

Блок-схема функціональних зв'язків ЕТК зварювання акумуляторних батарей представлена на рисунку 1.1:



Рисунок 1.1 – Блок-схема функціональних зв'язків ЕТК зварювання акумуляторних збірок

Пояснення до функціонального призначення блоків і їх складових, що зображені на блок-схемі рис. 1.1 [2].

Вхідні матеріали:

- акумуляторні елементи – це вхідні компоненти, які будуть зварюватися разом для створення акумуляторних батарей. Основними особливостями є тип, розмір і хімічний склад цих елементів;
- обладнання для зварювання – заводське обладнання та машини, які використовуються для зварювання, включаючи точкові, ультразвукові, дугові та лазерні зварювальні машини.

- електроди та інші засоби зварювання – елементи, які використовуються для створення з'єднань акумуляторної батареї. Для точкового зварювання це можуть бути точкові електроди, а для дугового - дроти зварювального матеріалу;
- керуюча система – це система або контролер, який керує процесом зварювання та контролює технологічні параметри.

Підготовка матеріалів:

- перевірка якості акумуляторних елементів. Перша стадія – перевірка якості та відповідності акумуляторних елементів вимогам. Особливості перевірки включають вимір та ідентифікацію кожного елемента;
- підготовка обладнання до роботи. Перед зварюванням необхідно налаштувати та підготувати зварювальне обладнання. Це може включати в себе налагодження параметрів зварювання та перевірку стану обладнання;
- налаштування параметрів зварювання. Встановлення параметрів, таких як струм, напруга і час, для забезпечення процесу зварювання.

Зварювання:

- зварювання акумуляторних елементів за встановленими параметрами – це етап фактичного виготовлення акумуляторних батарей. З'єднання виконується за допомогою відповідних методів зварювання (наприклад, точкового, ультразвукового, дугового або лазерного);
- моніторинг та контроль процесу зварювання. Під час зварювання важливо відслідковувати параметри та контролювати технологічний процес, щоб забезпечити якість з'єднань.

Охолодження та інспекція:

- охолодження зварюваних акумуляторів. Після завершення зварювання акумулятори можуть піддаватися охолодженню для забезпечення стійкості з'єднань;
- візуальна інспекція якості зварювання. Проводиться візуальна оцінка зварювання для виявлення будь-яких дефектів чи несправностей.

Тестування:

- електричне тестування акумуляторних батарей: Перевірка акумуляторних батарей на відповідність електричним параметрам, а саме: напрузі, струму, внутрішньому опору та ємності.

Упаковка та маркування:

- упаковка готових акумуляторних батарей – це останній етап перед відправленням готових блоків акумуляторів. Виконується відповідно до вимог та нормативів;
- при нанесенні маркування та ідентифікаційних даних акумуляторних батарей зазначається інформація про тип, характеристики, виробника тощо.

Вихідні матеріали:

- готові акумуляторні батареї;
- результат роботи електротехнічного комплексу - готові та випробувані акумуляторні батареї;
- дані з контролю якості та технічної інформації, що зібрані під час контролю якості.

Керування та моніторинг:

- керуюча система для автоматизації процесу – це система, яка керує та координує всі етапи виробництва акумуляторних батарей;

- моніторинг параметрів в реальному часі – постійний моніторинг та збір даних про параметри процесу зварювання для забезпечення якості та ефективності.

1.3 Визначення вузлів оптимізації ЕТК

Електротехнологічні комплекси, що включають в себе різноманітні системи та пристрої для виробництва або розподілу електроенергії, відіграють надзвичайно важливу роль у сучасному світі. Вони забезпечують життєво важливі функції, такі як постачання енергії для побуту, промислового виробництва, транспорту та інфраструктури. Проте, зростаюча потреба у стабільності, надійності та сталому розвитку сприяє вдосконаленню вузлів електротехнологічних комплексів.

Вузли ЕТК - це окремі електротехнічні та електромеханічні пристрої модернізація яких впливає на ефективність, надійність, стабільність електропостачання та роботи електромеханічного обладнання. За рахунок оптимізації роботи окремих вузлів ЕТК підвищується ефективність використання технологічного обладнання.

Модернізація дозволяє збільшити виробничу потужність та знизити втрати енергії, що робить електротехнічні комплекси більш ефективними та витрато-ощадними.

Застосування системи моніторингу та діагностики дозволяє передбачити та усунути проблеми функціонування ЕТК та наслідків у разі виникнення нештатних ситуацій.

Автоматизація процесів управління електротехнічними та електромеханічними системами забезпечує більш швидке реагування систем на зміни штатної роботи ЕТК, що обумовлені помилковими діями людини.

Сучасні технології, такі як інтернет (IoT), штучний інтелект (AI) та аналіз даних, створюють нові можливості для оптимізації роботи ЕТК. Системи моніторингу, які здатні аналізувати великі обсяги даних та передбачати виникнення проблем, стають невід'ємною частиною сучасних комплексів.

Модернізація вузлів ЕТК дозволяє покращити продуктивність, забезпечити ефективне використання ресурсів та знизити шкідливий вплив на навколишнє середовище.

1.4 Основні чинники, що впливають на функціонування ЕТК зварювання батареї акумуляторів

Аналіз роботи ЕТК зварювання акумуляторних батарей передбачає детальний розгляд стадій технологічного процесу, кожна стадія якого забезпечує функціонування всього ЕТК та впливає на ефективність процесу зварювання.

Вибір обладнання є основним етапом підготовки для ефективного зварювання акумуляторних батарей. При виборі зварювального обладнання слід усунути його несумісність з хімічними властивостями та розміром акумуляторних елементів. Важливо враховувати можливості оновлення та модернізації обладнання з метою підвищення продуктивності і точності зварювання.

Дослідження впливу струму, напруги, часу та частоти на якість та продуктивність зварювання дозволяє визначити оптимальні значення цих параметрів для налаштування процесу зварювання [3].

На основі аналізу функціонування вузлів ЕТК, окремих стадій технологічного процесу важливо визначити можливість заміни ручної праці автоматизованими системами. Така модернізація процесу точкового зварювання може підвищити продуктивність та забезпечити більшу однорідність міцності з'єднань зварних елементів.

Функціонування системи автоматичного керування передбачає впровадження передових технологій контролю параметрів зварювання у реальному часі. Це може бути реалізовано при використанні датчиків моніторингу та контролю важливих параметрів для вчасного реагування на будь-які аномалії або відхилення.

Підвищення ефективності системи контролю якості передбачає впровадження різних методів виявлення дефектів. Наприклад, при застосуванні високоточних камер для візуального контролю.

Оптимізація енергоефективності може включати в себе використання більш ефективних технологій зварювання, які менше споживають електроенергії. Важливо вивчити можливості застосування «розумних» систем управління споживанням електроенергії.

Розширення системи безпеки праці передбачає впровадження додаткових заходів захисту та навчання персоналу щодо безпеки на робочому місці. Це включає в себе регулярну перевірку обладнання та дотримання стандартів безпеки.

Забезпечення технічної підтримки від виробників обладнання та навчання персоналу шляхом організації навчальних семінарів, тренінгів сприятиме підвищенню компетенції персоналу та ефективній експлуатації обладнання.

Важливим чинником для забезпечення безперервності виробництва є формування необхідної кількості запасних частин і регулярне обслуговування обладнання.

Висновки по Розділу 1

Точкове зварювання відіграє важливу роль у сфері виготовлення акумуляторних батарей. Значимість даного методу обумовлена рядом переваг. По-перше, цей метод не потребує додаткових матеріалів, таких як наповнювачі

або газу, що спрощує процес. По-друге, точкове зварювання легко піддається автоматизації, що робить його ідеальним для масового виробництва. Крім того, використання методу точкового зварювання дозволяє забезпечити високу якість зварних швів.

Проте існують обмеження використання цього методу. Точкове зварювання не так ефективне при роботі з матеріалами, що мають високу електричну провідність, і може бути складним при спробі з'єднати більше двох шарів. Якість зварних швів іноді важко перевірити, а проблеми з заліпанням електродів можуть знизити ефективність процесу.

Важливим фактором у процесі точкового зварювання є вибір матеріалу електродів. Зазвичай, використовуються сплави на основі міді, які відрізняються відповідною електричною провідністю та теплопровідністю. Для забезпечення якості зварювання, необхідно контролювати товщину матеріалу та точно налаштовувати параметри зварювання.

Сучасні технології відіграють важливу роль у оптимізації процесу зварювання. Впровадження штучного інтелекту при налаштуванні поточних параметрів зварювання дозволяють підвищити якість, та однорідність зварних швів. Окрім технічних аспектів, важливо також зосередити увагу на безпеці робочих місць та навчанні персоналу, аби знизити ризики травматизму.

РОЗДІЛ 2 ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТОЧКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

2.1 Визначення параметрів збірки для точкового зварювання

Щоб підвищити потужність та ресурс роботи, задовольнити потреби користувача в енергії – літій-іонні батареї потрібно з'єднувати послідовно та паралельно, створюючи акумуляторні блоки різної конфігурації. Однак неминучий опір роз'єму спричиняє невідповідність струму елемента та стану заряду у пакетах. Тим часом різні методи складання та положення колекторного модуля можуть призвести до різного розташування опору роз'єму, що призведе до різного розподілу струму в осередку.

Для дослідів використовую збірку конфігурації $6s2p$ – задіяно дванадцять елементів формату 21700 (рис. 2.1). В даному випадку 6 елементів буде зварено послідовним методом для досягнення потрібного значення напруги та кожен із шести елементів буде приєднувати до себе один елемент паралельним методом. Це дозволяє досягти потрібних параметрів ємності та струму збірки при розряді.

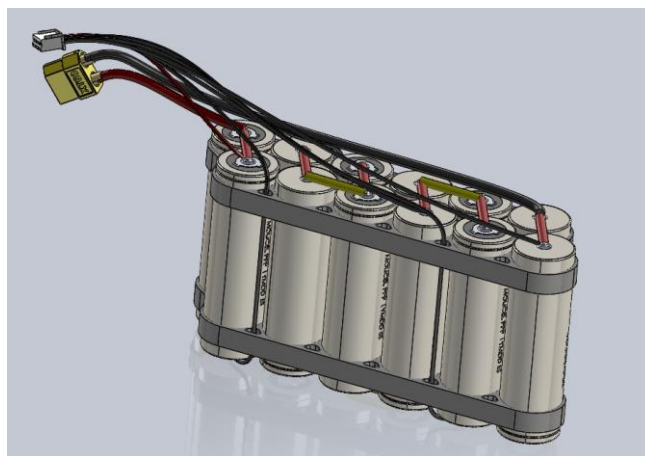


Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд акумуляторної збірки конфігурації $6s2p$

При проведенні дослідів було обрано елементи формату 21700 фірми-виробника *Samsung*, а саме *Samsung 40T* (рис. 2.2) із наступними параметрами, що зазначенні в таблиці 2.1 [4].

Таблиця 2.1 – Параметри елемента *Samsung 40T*

Тип елемента	<i>LiNiMnCo</i>
Формат	21700 без захисту
Місткість	4000 мАгод
Напруга мінімальна	2.5 В
Напруга номінальна	3.7 В
Напруга максимальна	4.2 В
Постійний струм розряду	35 А
Піковий короткочасний струм навантаження	45 А
Струм заряду стандартний	2А
Струм заряду максимальний	6 А
Розмір	21.22 мм x 70.3 мм (макс.)
Вага	70 гр. (макс.)

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд елемента *Samsung 40T*

Розрахунок параметрів акумуляторної збірки:

Технічні параметри елементів типу *Li- on Samsung 40T* збірки наступні:

- номінальна напруга елемента (U_{n1}): 3,6 (В);
- ємність елемента (C_{n1}): 4000 (мА·год);
- номінальний струм розряду елемента (I_{n1}): 35 (А);
- піковий струм розряду елемента (I_{max1}): 45 (А);
- внутрішній опір елемента ($\bar{O}_1$): 10 (мОм).

1) Номінальна напруга збірки – це загальна напруга всіх елементів, з'єднаних послідовно. Коли ми з'єднуємо декілька елементів послідовно, їх напруги додаються. Отже, формула для обрахунку номінальної напруги збірки:

$$U_n = U_{n1} \cdot N_6 = 3,6 \cdot 6 = 21,6 \text{ (В)} \quad (1)$$

де U_{n1} – номінальна напруга одного елемента, N_6 – кількість елементів, з'єднаних послідовно (в нашому випадку 6);

2) Ємність збірки при паралельному з'єднанні елементів є сумою ємностей кожного елемента. Таким чином, формула для обрахунку загальної ємності:

$$C_n = C_{n1} \cdot N_6 = 4000 \cdot 2 = 8000 \text{ (мА·год)} \quad (2)$$

де C_{n1} – номінальна ємність одного елемента, N_{p2} – кількість елементів, з'єднаних послідовно (в нашому випадку 2);

- 3) Номінальний струм розряду для збірки, де елементи з'єднані паралельно, також є сумою номінальних струмів кожної паралельної групи:

$$I_n = I_{n1} \cdot N_6 = 35 + 35 = 70 \text{ (A)} \quad (3)$$

де I_{n1} – номінальний струм розряду 1 елемента.

- 4) Піковий струм розряду для паралельно з'єднаних елементів також визначається сумою пікових струмів кожної групи:

$$I_{max} = I_{max1} \cdot N_6 = 45 + 45 = 90 \text{ (A)} \quad (4)$$

де I_{max1} – піковий струм розряду 1 елемента.

- 5) Визначення опору для з'єднаних елементів (6s2p).

При з'єднанні елементів паралельно, загальний внутрішній опір знижується, струм при цьому має декілька шляхів розгалуження. Формула для розрахунку загального опору двох паралельно з'єднаних резисторів (в нашому випадку, акумуляторів) виглядає наступним чином [5]:

$$R_{\text{паралель}} = \frac{R_{\text{елемент}}}{N_{\text{паралель}}} \quad (5)$$

де $R_{\text{елемент}}$ – внутрішній опір одного елемента, а $N_{\text{паралель}}$ – кількість елементів з'єднаних паралельно, в нашому випадку ми маємо 2s.

У даному випадку, з внутрішнім опором елемента 10 (мОм) та 2-х паралельно з'єднаних елементів, отримаємо:

$$R_{\text{паралель}} = \frac{10 \text{ (мОм)}}{2} = 5 \text{ (мОм)}$$

Коли резистори з'єднані послідовно, їх опори додаються. Тому, загальний опір для послідовної конфігурації визначається простою сумою опорів кожного елемента:

$$R_{\text{серія}} = R_{\text{паралель}} \cdot N_{\text{серія}} = 5 \text{ (мОм)} \cdot 6 = 30 \text{ (мОм)} = 0,03 \text{ (Ом)} \quad (6)$$

де $R_{\text{паралель}}$ – опір однієї групи паралельних елементів; $N_{\text{серія}} = 6$ -кількість груп з'єднаних послідовно.

2.2 Підготовка до проведення дослідів. Огляд та аналіз обладнання

2.2.1 Обладнання для проведення дослідів

Для дослідницької частини використовується конденсаторний зварювальник від компанії AGOL (рис. 2.3) із наступними характеристиками (табл. 2.2):

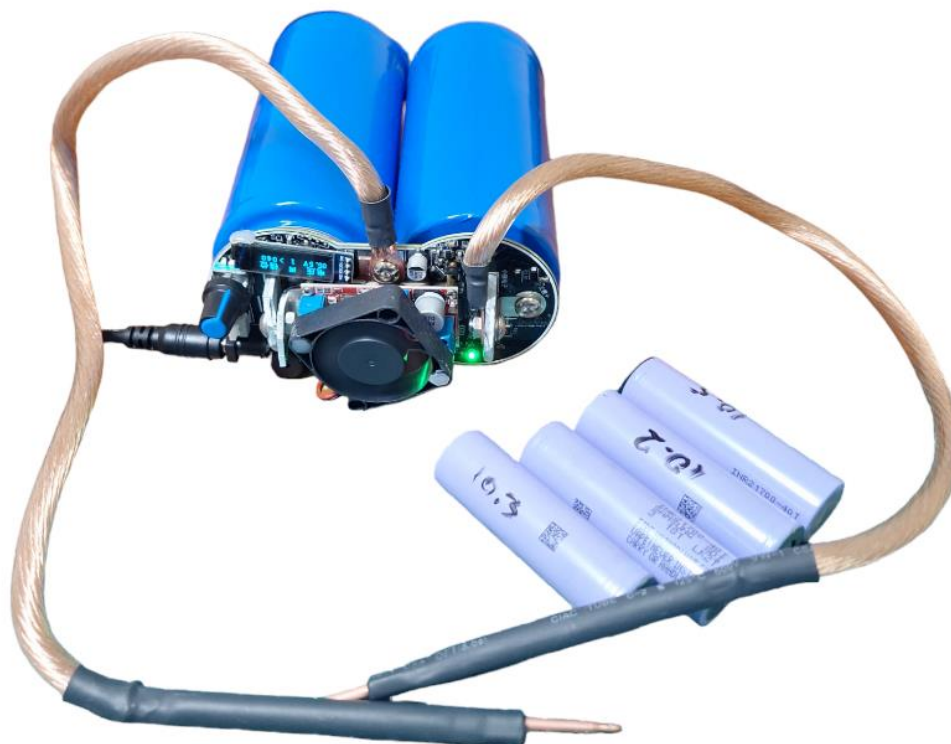


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд точкового зварювальника на іоністорах

Таблиця 2.2 – Параметри ручного зварювального точкового апарата на суперконденсаторах

Живлення конденсаторів	2,7 (В)
Напруга конденсаторів	до 5,8 (В)
Ємність	3000 (Ф)
Робоча напруга	до 5,8 (В)
Рекомендована напруга	4,5 – 5,5 (В)
Розрахунковий струм зварювання	1200 (А)
Реальний струм зварювання	1100 (А)
Потужність точкового зварювальника	6600 (Ват)
Час зварювання	1-120 мілісекунд
Напруга блоку зарядки	4,5 – 5,5 (В), 3 (А)
Охолодження	Активне повітряне
Відображення даних	Дисплей

Ручні конденсаторні зварювальники для акумуляторних збірок, також відомі як точкові зварювальники, використовуються для з'єднання металевих частин, таких як нікелеві стрічки, з акумуляторними елементами. Ідея використання електричної енергії для зварювання металів існує давно і її розвиток просувався багатьма винахідниками, але точний винахідник ручних конденсаторних зварювальників не відомий, оскільки це було результатом поступових інновацій у галузі зварювання.

Принцип роботи ручного конденсаторного зварювальника базується на швидкому розряді електричної енергії з конденсатора через невелику зону контакту між металевими частинами. Основні етапи циклу зварювання наступні:

- заряджання конденсатора. Конденсатори зварювальника спочатку заряджаються від електричного джерела до високого напруги.
- встановлення контакту. Металеві частини, які потрібно зварити, розміщуються разом, і зварювальник накладає на них електроди.
- розряд конденсатора. За допомогою керування, конденсатори розряджаються через електроди, створюючи швидкий і потужний електричний струм, який проходить через металеві частини.
- створення зварювального шва. Швидкий струм розряду виробляє місцеве нагрівання та часткове плавлення металів в точці контакту, створюючи зварювальний шов.
- охолодження. Після створення шва, метали охолоджуються, що призводить до їх з'єднання.

Цей метод зварювання дуже ефективний для виробництва акумуляторних збірок, оскільки він дозволяє точно контролювати енергію, що застосовується для зварювання, та мінімізувати термічний вплив на акумуляторні елементи, що є дуже важливим для забезпечення їхньої безпеки та надійності.

Для проведення додаткових вимірювальних процесів використовувався осцилограф *Intrustar ISDS205A* із наступними параметрами. Осцилограф моделі ISDS205A має широке застосування у навчальному процесі, при ремонті електроніки, у дослідницькій роботі над новими схемами, для моніторингу електронних систем та аналізу різноманітних електричних сигналів (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Осцилограф *Instrustar ISDS205A*

Цей прилад можна використовувати як стандартний осцилограф, цифровий синтезатор прямого сигналу, аналізатор спектру, записуючий пристрій, а також як логічний аналізатор. Осцилограф має наступні характеристики:

- кількість каналів: 2;
- опір: 1Мом 25 пФ;
- тип вхідного сигналу: змінний струм / постійний струм;
- дозвіл по вертикалі: 8 біт;
- діапазон посилення: -6 - 6 В (пробник X1), -60 - 60 В (пробник X10);
- точність по вертикалі: 3%;
- діапазон тимчасової розгортки: 1 нс - 20 с;
- захист входу: діодний, пікова напруга 50 В;
- автоматичне налаштування: в діапазоні 10 Гц - 20 МГц;
- режими синхронізації: авто, нормальна, однократна;
- способи синхронізації: передній фронт, задній фронт;
- розмір буфера: 1 мегабайт на канал;
- математичні функції: додавання, віднімання, множення;

- пропускна здатність: 20 МГц;
- частота дискретизації: 48 MS / s;
- відображення осцилограм: X, Y-T / X-Y;
- Збереження осцилограм в форматах: BMP або в файлах MS Excel;
- алгоритм: швидке перетворення Фур'є (18 вікон), кореляція, спектральна функція;
- вибірка: 1 канал - 1 КГц ~ 24 МГц, 2 канал - 1 КГц ~ 16 МГц;

Для вимірювання внутрішнього опору використано *YAOREA YR1035+*, тестер внутрішнього опору та напруги акумуляторів до 100V (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд тестеру внутрішнього опору *YAOREA YR1035+*

Основні характеристики тестеру наступні:

- діапазон вимірювання напруги: від 0 до 100 вольт. Такий діапазон вимірювання напруги дозволяє його застосування для багатьох

типів акумуляторів, від невеликих побутових батарей, до більших промислових акумуляторних блоків.

- вимірювання внутрішнього опору та визначення внутрішнього опору є важливим для оцінки стану та ефективності акумулятора, оскільки збільшення внутрішнього опору може вказувати на деградацію акумулятора.
- точність : *YR1035+* забезпечує високу точність вимірювань, що є критично важливим для надійного моніторингу характеристик акумуляторів.
- діапазон вимірювання внутрішнього опору:
 - 0,01mΩ - 20mΩ (похибка до 0,7%)
 - 0,1mΩ - 200mΩ (похибка до 0,5%)
 - 1mΩ — 2Ω (похибка до 0,5%)
 - 10mΩ - 20Ω (похибка до 0,5%)
 - 0,1Ω - 200Ω (похибка до 0,6%)
- швидкість вимірювань: прилад розроблений для швидких та ефективних вимірювань, дозволяючи користувачам швидко отримувати дані без значних затримок;
- портативність: *YR1035+* зазвичай компактний і легкий, що робить його зручним для використання в різних умовах, включаючи польові перевірки.

Для візуалізації було використано програмне забезпечення *Multi VirAnalyzer*. В даного програмного забезпечення є наступний функціонал:

- аналіз сигналів: програма забезпечує засоби для аналізу електричних сигналів, які були зафіксовані осцилографом;

- візуалізація: дозволяє користувачам візуалізувати сигнали в реальному часі, що є важливим для розуміння поведінки електронних схем;
- електротехнічне проектування і ремонт: широко використовується в проектуванні та ремонті електронних схем, а також у випробуванні та налагодженні електроніки.

Позитивні сторони програмного забезпечення:

- мультимодальний аналіз: можливість одночасного використання декількох осцилографів може значно підвищити гнучкість та точність вимірювань;
- інтуїтивний Інтерфейс: Зазвичай такі програми мають дружній та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- підтримка різних типів осцилографів: якщо програма сумісна з широким спектром осцилографів, це розширює її універсальність.

Однак наявні і слабкі сторони:

- технічні вимоги: високі технічні вимоги до обладнання, з яким вона використовується;
- складність навчання: для нових користувачів може бути складно швидко освоїти всі функції програми;
- залежність від специфікацій осцилографа: якість та точність аналізу може залежати від характеристик підключеного осцилографа.

Для живлення зварювального апарату використовується блок *ADP-30JH* 30W. Параметри блоку живлення наведені в таблиці 2.3, зовнішній вигляд зображений на рис. 2.6 представлена його електрична схема.

Таблиця 2.3 – Характеристики блоку живлення *ADP-30JH 30W*

Модель	<i>YDS30</i>
Потужність	30 Вт
Напруга	19 Вт
Роз'єм	5,5 x 1,7 мм
Сила струму	1,58 А

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд блоку живлення *ADP-30JH 30W*

2.2.2. Підготовка до проведення досліду

Перед початком роботи над дослідницькою частиною було проведено ряд вимірів, що допомогли виявити який внутрішній опір мають електроди та частина кабелю через який проходить розрядний імпульс.

Результати вимірювання опору елементів представлені на рис. 2.7, А.1, А.2. На рисунку 2.7 можна відслідкувати, що опір при вимірюванні на лівому електроді разом із кабелем становить 0,9 мОм. На рис. А.1 (Додаток А)

відображається внутрішній опір правого електроду разом із кабелем та становить 1 мОм. Саме даний кабель та електрод будемо використовувати в якості мідного шунта для замірів та відтворення осцилограми, щоб в подальшому за законом Ома віднайти струм який протікає під час зварювання. На рис. А.2 (Додаток А) зображено вимір внутрішнього опору суперконденсаторів, що становить 0,59 мОм.

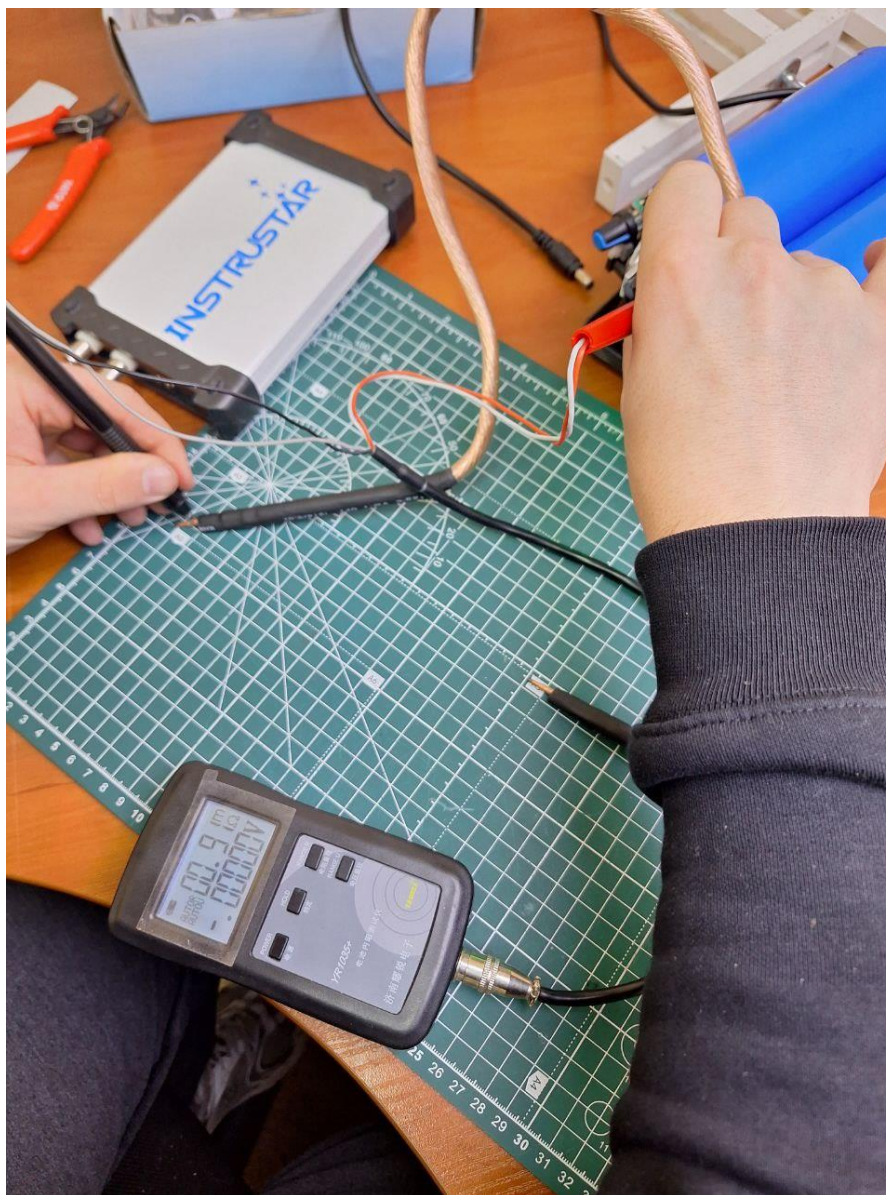


Рисунок 2.7 – Вимірювання внутрішнього опору лівого електроду

Висновок до розділу 2

В даному розділі було проведено вибір акумуляторних елементів компанії Samsung (Samsung 40T) з заданими технічними параметрами (табл. 2.1) для відтворення та складання експериментальної збірки конфігурації 6s2p. Проведено розрахунок загальної номінальної напруги збірки – 21.6 В, загальної ємності збірки – 8000 мАгод, номінальний струм розряду – 70 А, максимальний струм розряду збірки – 90 А та опір збірки – 30 мОм.

Проведено ознайомлення та аналіз обладнання, що використовувалось у подальших дослідженнях. Для досліду було обрано ручний точковий зварювальник на іоністорах (рис. 2.3), осцилограф *Instrustar ISDS205A* (рис. 2.4), тестер внутрішнього опору *YAOREA YR1035+* (рис. 2.5), блок живлення *ADP-30JH 30W* (рис. 2.6).

Виконувалась підготовка до проведення дослідницької частини вузла зварювання, де в точковому зварювальнику було проведено вимір внутрішнього опору. Опір правого електрода разом із мідним кабелем становить 1 мОм, опір лівого електрода разом із кабелем становить 0,9 мОм та внутрішній опір суперконденсаторів становить 0,59 мОм. Дані заміри необхідні для подальших розрахунків струму за законом Ома.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Проведення експерименту із метою дослідження вузла зварювання ЕТК

В ході проведення експерименту було досліджено зміну якості проварювання в залежності від тривалості процесу зварювання. Під час експерименту на електроди, що притискалися до зварювальної поверхні, діяла сила орієнтовно в 30 Н, що є достатнім. Така величина зусилля, як відомо, є достатньою для зварювання. Під час проведення експерименту електроди витримували розряд при варіації зміни тривалості відкритого стану ключів від 20% до 120% номінального часу відкритого стану ключів. Шкала налаштувань розроблена виробником плати. Протягом проміжку часу відкритого стану ключів відбувається зварювання металу до елемента. Матеріалом для з'єднання окремих акумуляторів при зварюванні було використано нікелеву стрічку товщиною 0,15 мм та завширшки – 8 мм. Результати дослідження занесені до таблиці 3.1 [6].

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних досліджень зварювання

Елемент №	Параметри			Контактний опір (мОм)	Радіус зварювального кратера (мм)	Глибина зварювального кратера (мм)
	Напруга на звар. апараті (В)	Час увімкнення (%)	Сила, що прикадена до електродів (Н)			
1	5,4	20	30	0,25	0,5	0,04
2	5,4	40	30	0,19	0,73	0,068
3	5,4	60	30	0,33	0,74	0,08
4	5,4	80	30	0,33	0,9	0,085
5	5,4	100	30	0,3	1,2	0,088
6	5,4	120	30	0,32	1,25	0,94

При аналізі даних таблиці 3.1 можна помітити несуттєві зміни в числових значеннях, однак, навіть не великі розбіжності можуть спричинити критичні ситуації для підтримання якості проварювання.

При порівнянні значень можна зауважити, що при зростанні інтервалу зварювання металу до елемента, змінюється радіус та глибина кратеру, це негативно впливає на метал та місце прикладання контактів. Також це спричинено надмірними параметрами для зварювання в даному випадку. Для прикладу на рис. 3.1 відображено розподіл прикладеного зусилля.

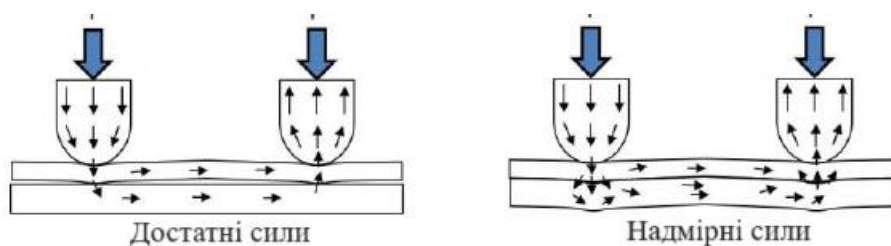


Рисунок 3.1 – Розподіл дії сил на зварювальну поверхню.

Графіки залежності контактного опору, радіуса кратера та його глибини від часу відкритих силових ключів представлені на рис (3.2÷3.4). Дані графіки дозволяють більш детально та наочно помітити зміни при різних часових проміжках відкритих ключів та допоможуть зробити відповідний висновок та аналіз для подальшої роботи.

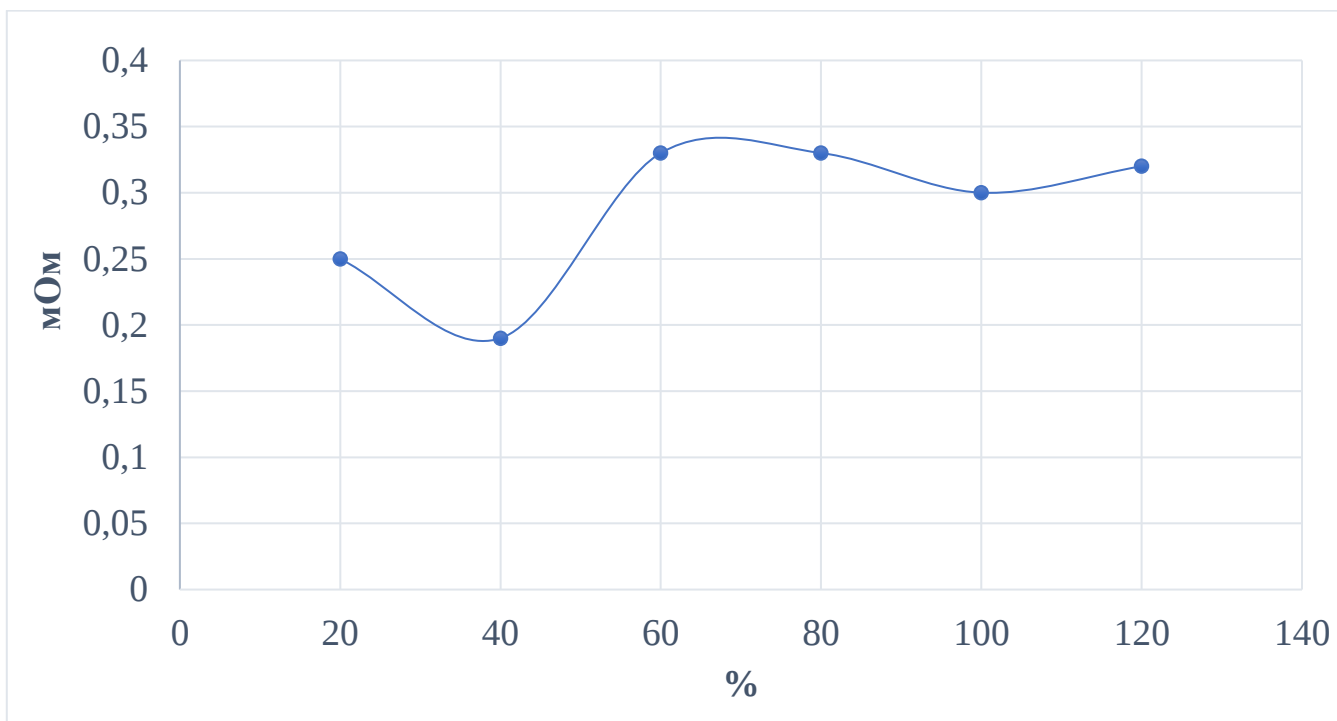


Рисунок 3.2 - Залежність контактного опору від часу відкриття ключів

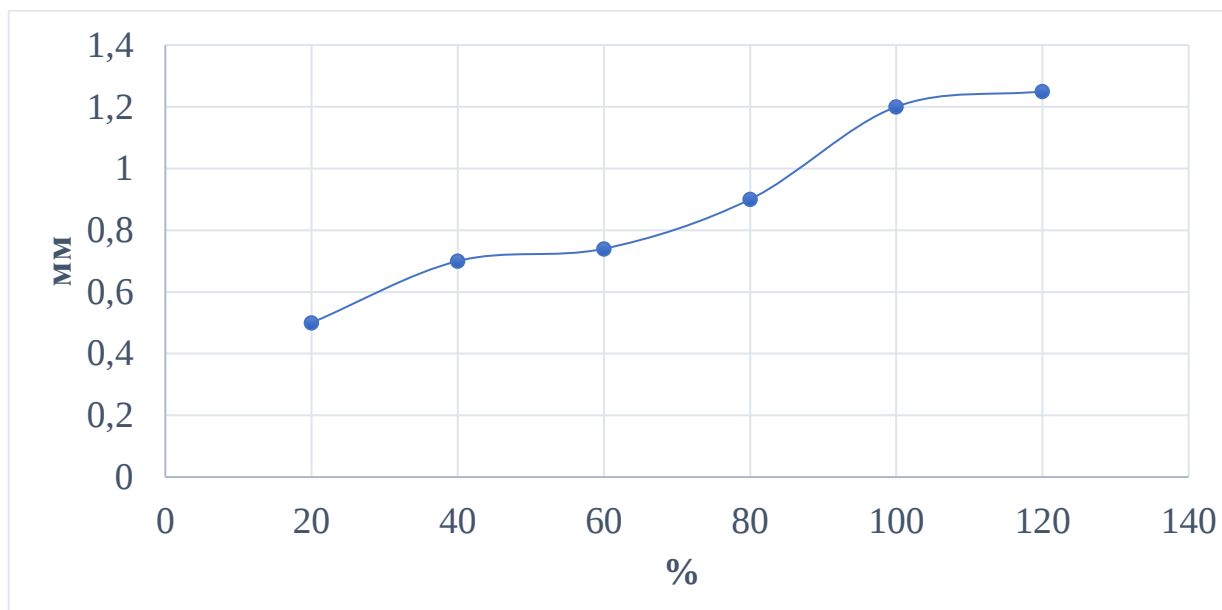


Рисунок 3.3 - Залежність радіусу кратера від часу протікання імпульсу при відкритих силових ключах

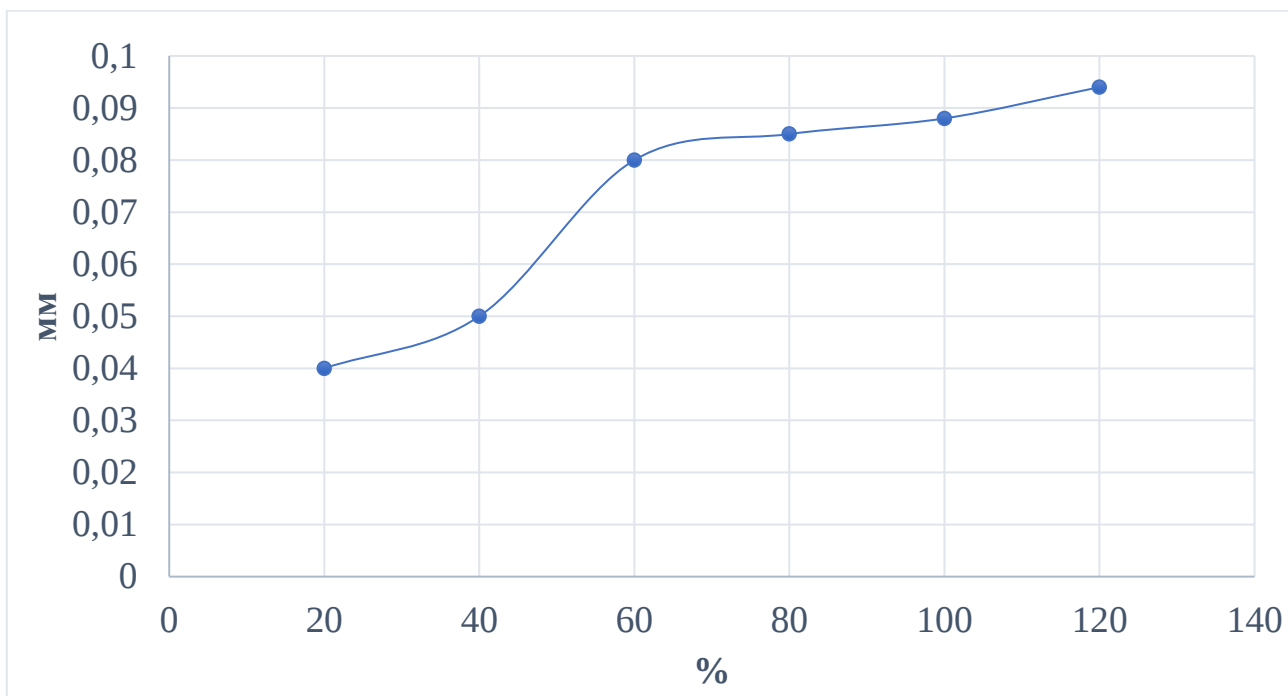


Рисунок 3.4 - Залежність глибини кратера від часу протікання імпульсу при відкритих силових ключах

При розгляді рисунку 3.2 та 3.3 можна помітити, що час зварювання прямо впливає на якість зварювання. Глибина та ширина утвореного кратеру збільшується при більших часових проміжках. Даний фізичний процес можна побачити на рис. (3.5÷3.10). Також варто зауважити, що контактний опір не сильно змінюється. Це може бути пов'язано із коротким часовим проміжком часу зварювання та короткій роботі самого зварювальника. Якщо зварювальник буде працювати на постійній основі, то контактний опір буде зменшуватись та при більш меншій потужності може проварюватись швидше. В такому разі також виникає ризик руйнування тримача електродів, як наслідок – зупинка технологічного процесу [7].

Якість звареної точки можна покращити зміною тривалості проварювання, а також сили тиснення контактів на поверхню зварювання. Результати експерименту точкового зварювання пластини та полюсів акумулятора представлені на рис. 3.5 та на рис. 3.6.



Рисунок 3.5 – Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 20%



Рисунок 3.6 —Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 40%

На рис. (3.5, 3.6) при тривалості імпульсу в 20% та 40% від визначеного технічними характеристиками номінального часу тривалості відкритого стану ключів можна спостерігати, що кратери в місцях прикладення зварювальних електродів не мають обвугленого кратеру та міцно прилягають в точках зварювання.

Такого висновку не можна зробити при зварюванні із використанням часового діапазону від 60% до 120% (рис. Б.1÷Б4) тривалості часового розряду імпульсу. При розширеному дослідженні кратера можна помітити, що через надмірні сили та довжину імпульсу утворюється обпалення кратеру. Даний феномен негативно впливає на метал та місце зварювання, втрачається міцність та надійність з'єднання. Якщо порівнювати елементи, що наведені на рисунках (3.5, 3.6) та на рис. (Б.3, Б.4), можна помітити виникнення ефекту обпалення кратеру. При проведенні дослідів (рис. Б.4) нікелева стрічка була проварена настільки, що метал почав плавитись, а після розсіювання температури у зовнішнє середовище – взагалі став крихким.

Нижче наведені матеріали, що були отримані при проведенні зварювання з використанням осцилографа. На рис (3.11÷3.24) відображено перехідний процес напруги на електродах горизонтальні повзунки Cur1 та Cur2 в горизонтальному положенні допомагають визначити напругу імпульсу. При вертикальному розміщенні повзунків Cur1 та Cur2 відслідковується часовий проміжок імпульсу. Даний проміжок має за початок момент відкриття силових ключів та за кінець – момент закриття силових ключів.

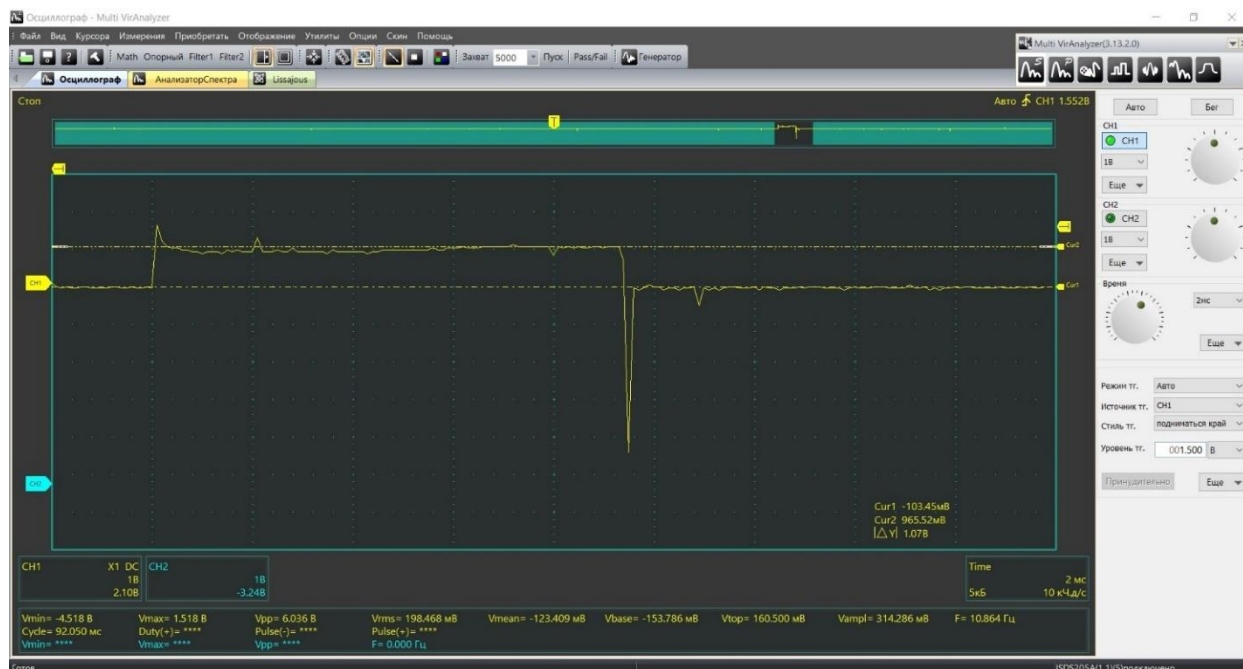


Рисунок 3.11 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 20% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

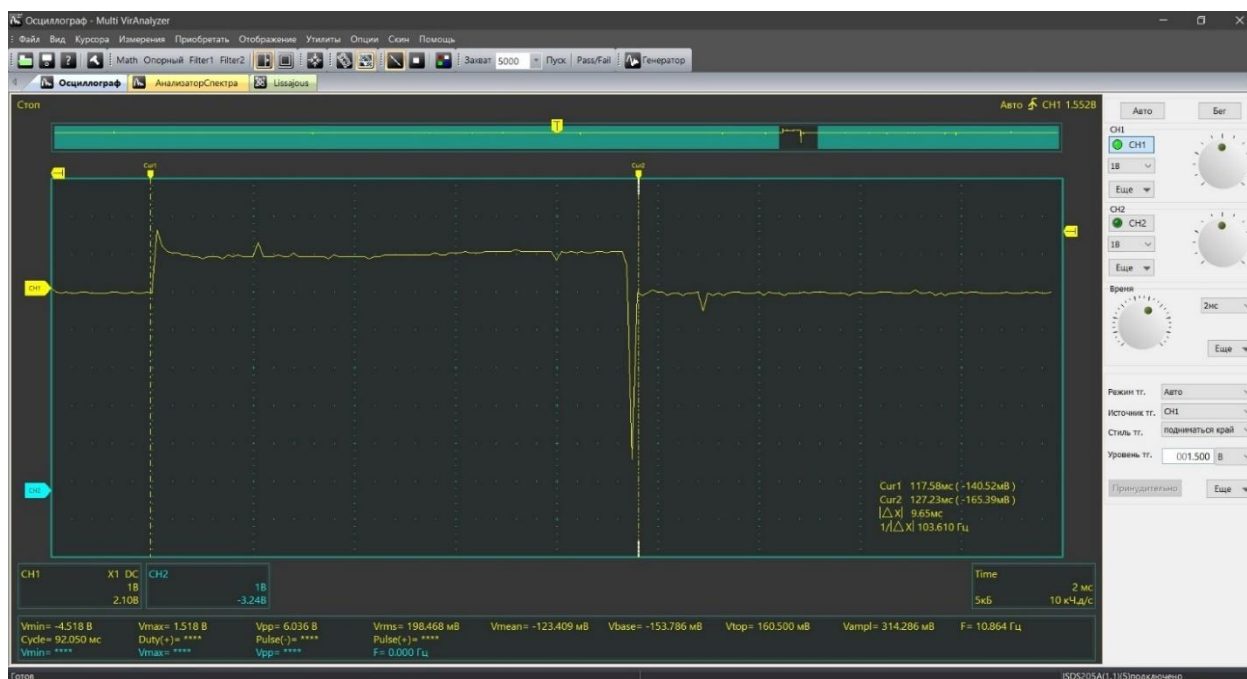


Рисунок 3.12 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 20% часового діапазону відкриття силових ключів

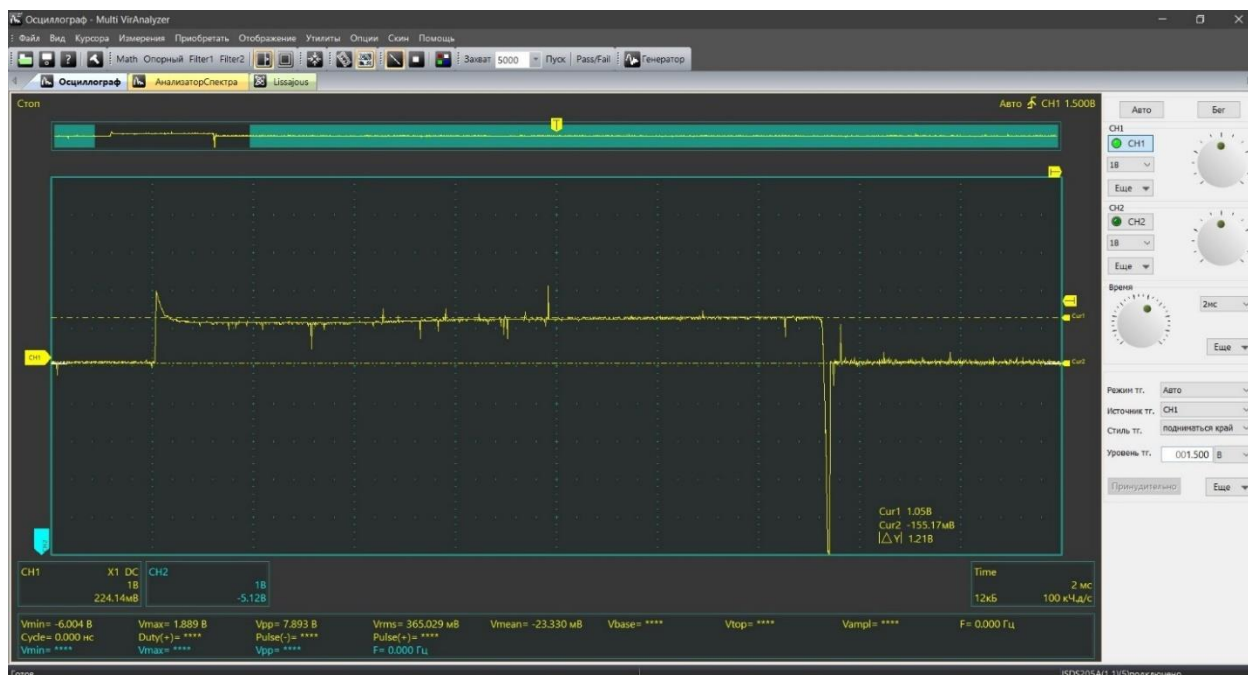


Рисунок 3.13 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 40% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

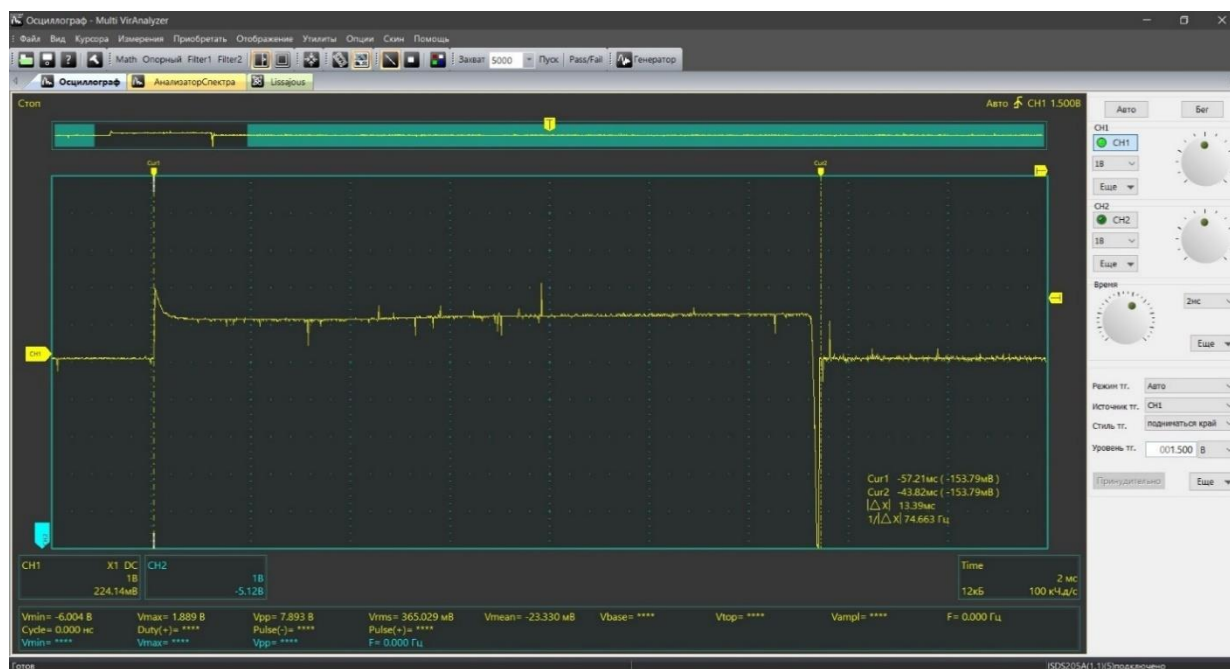


Рисунок 3.14 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 40% часового діапазону відкриття силових ключів

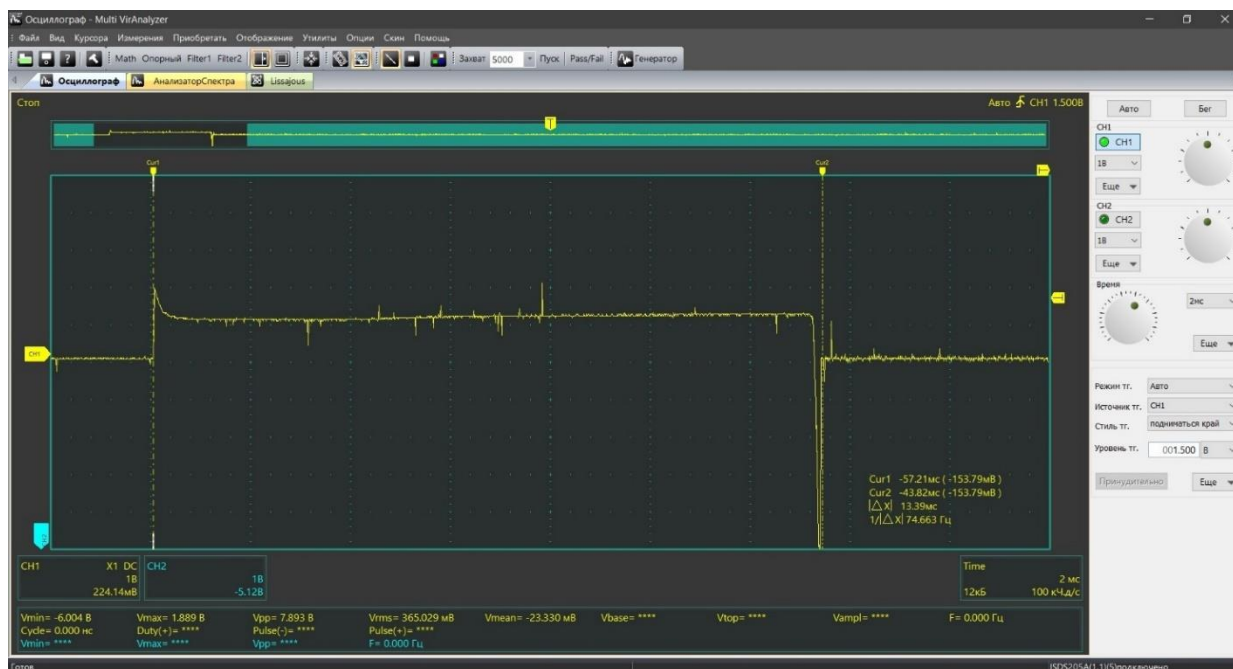


Рисунок 3.15 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 60% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

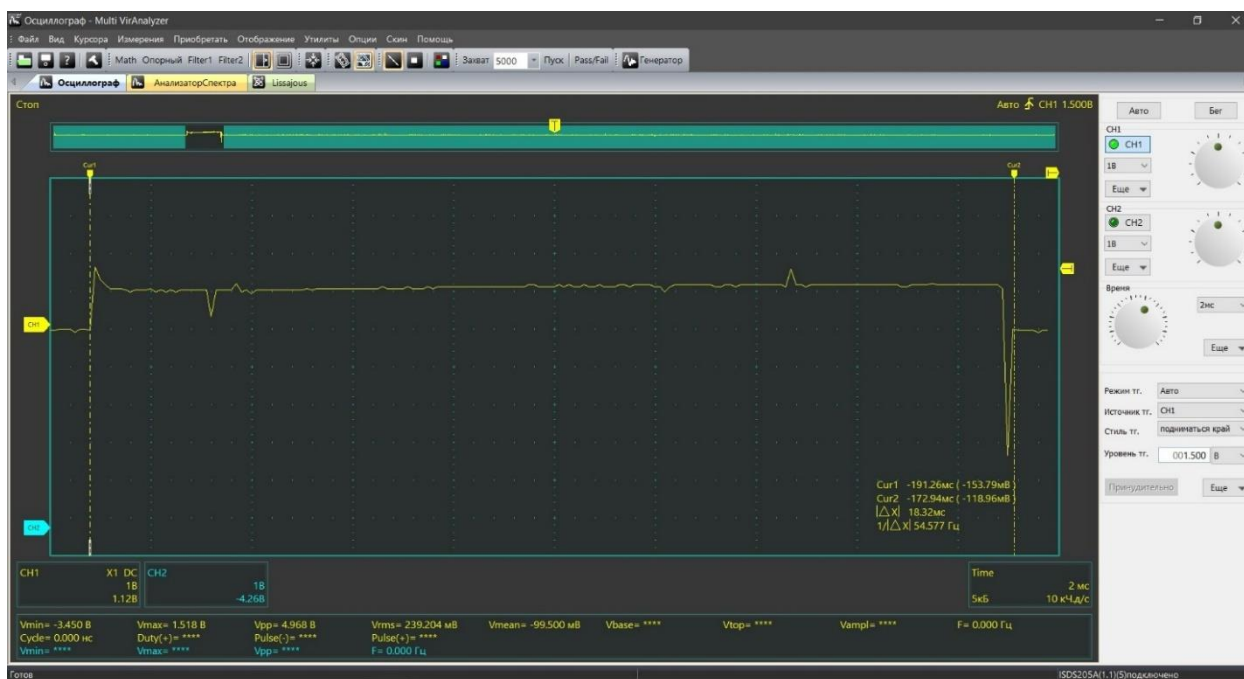


Рисунок 3.16 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 60% часового діапазону відкриття силових ключів

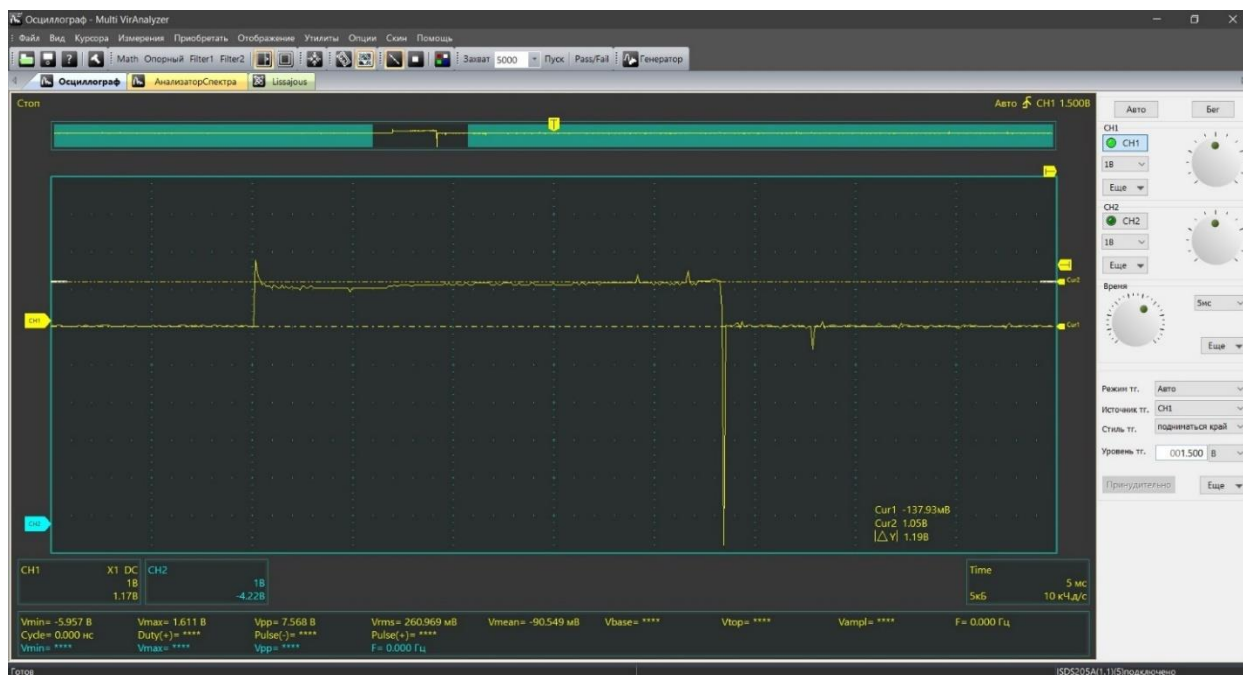


Рисунок 3.17 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 60% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

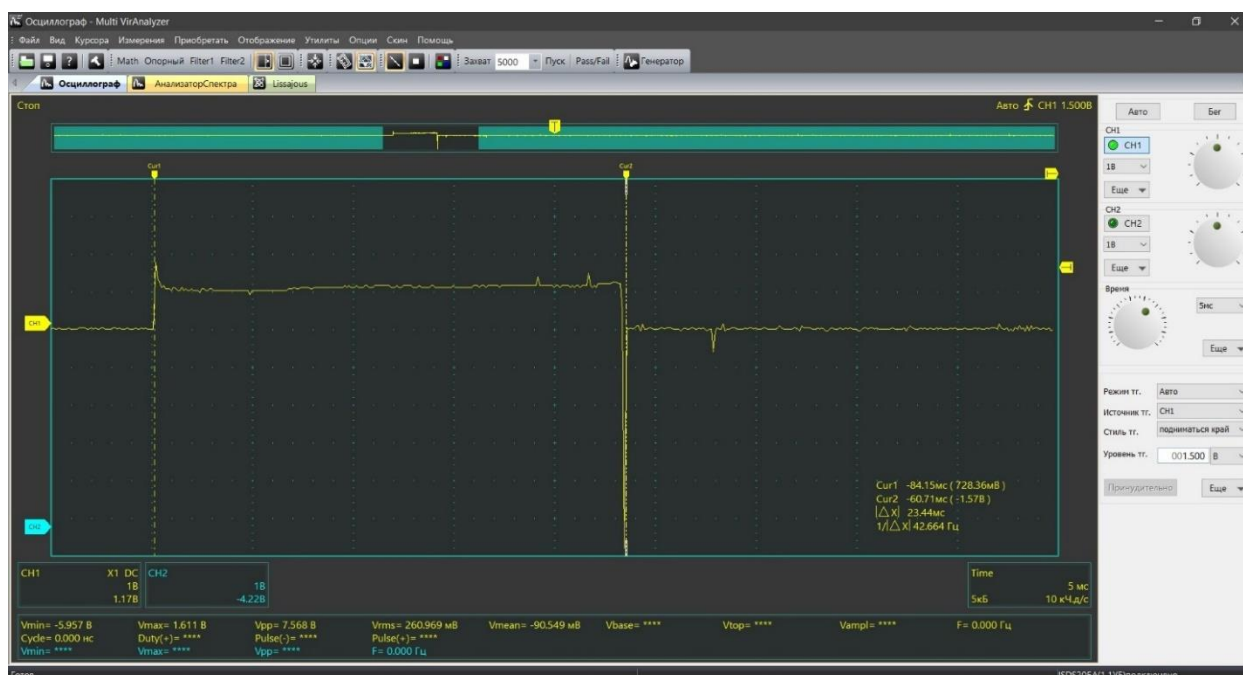


Рисунок 3.18 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 80% часового діапазону відкриття силових ключів

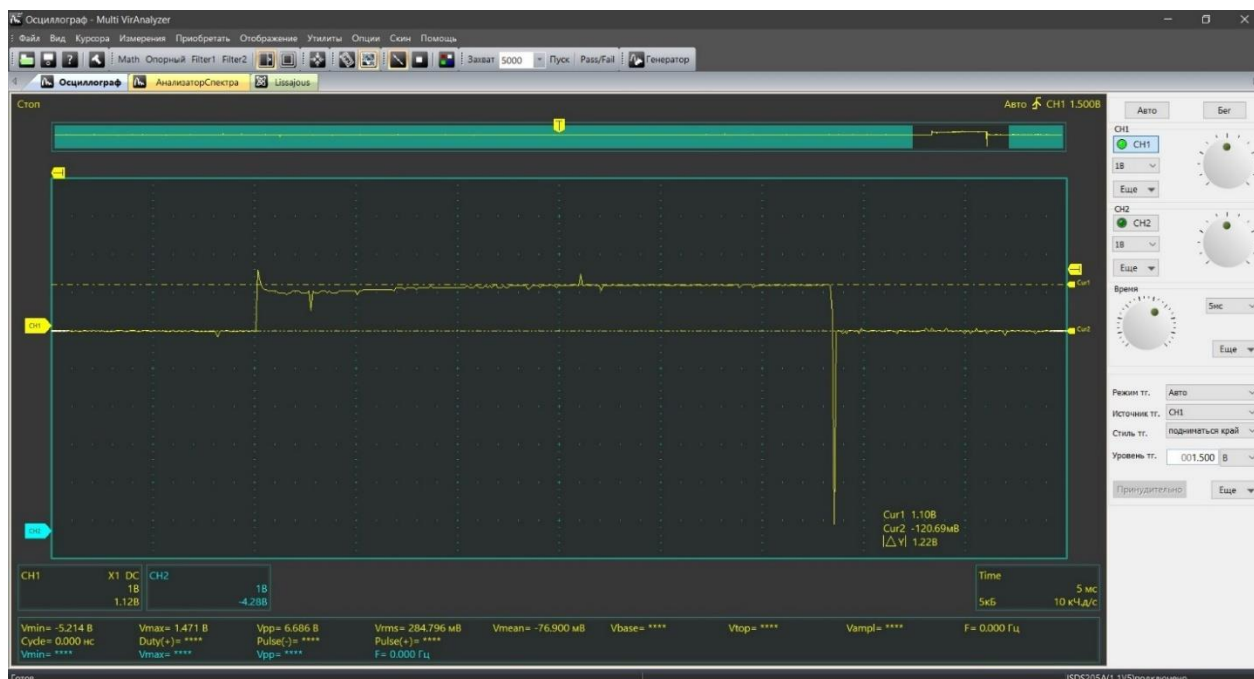


Рисунок 3.19 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 100% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

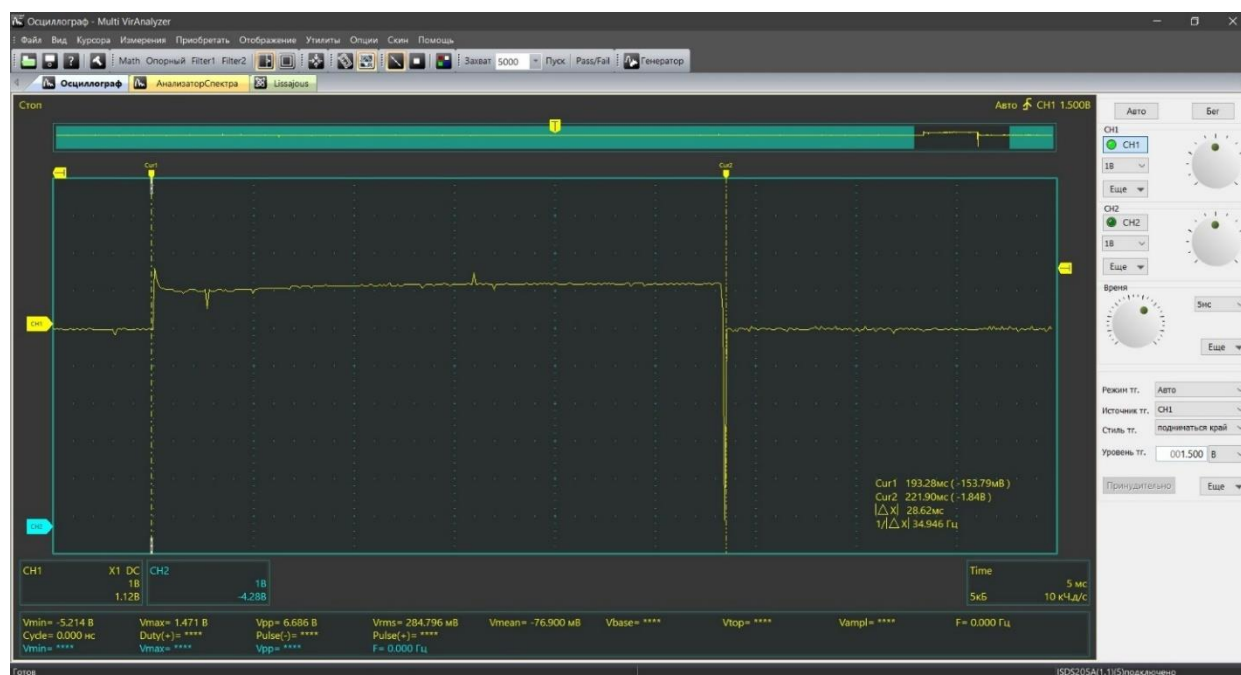


Рисунок 3.20 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 100% часового діапазону відкриття силових ключів

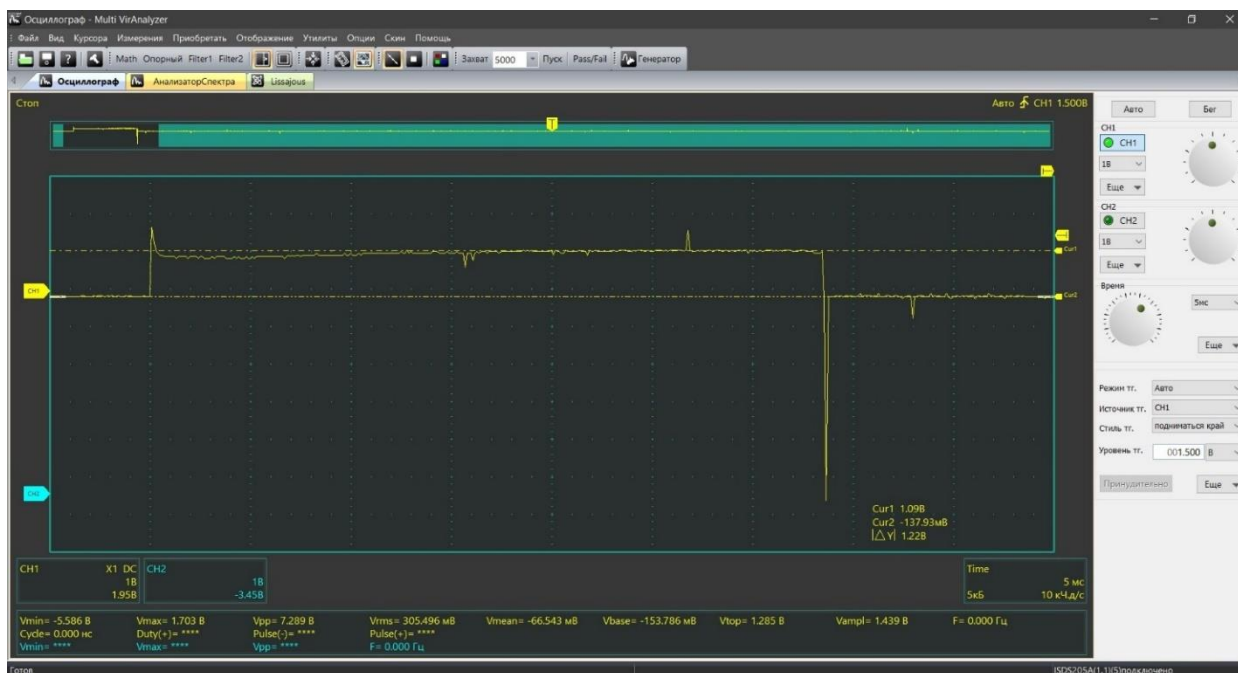


Рисунок 3.21 – Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 120% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів

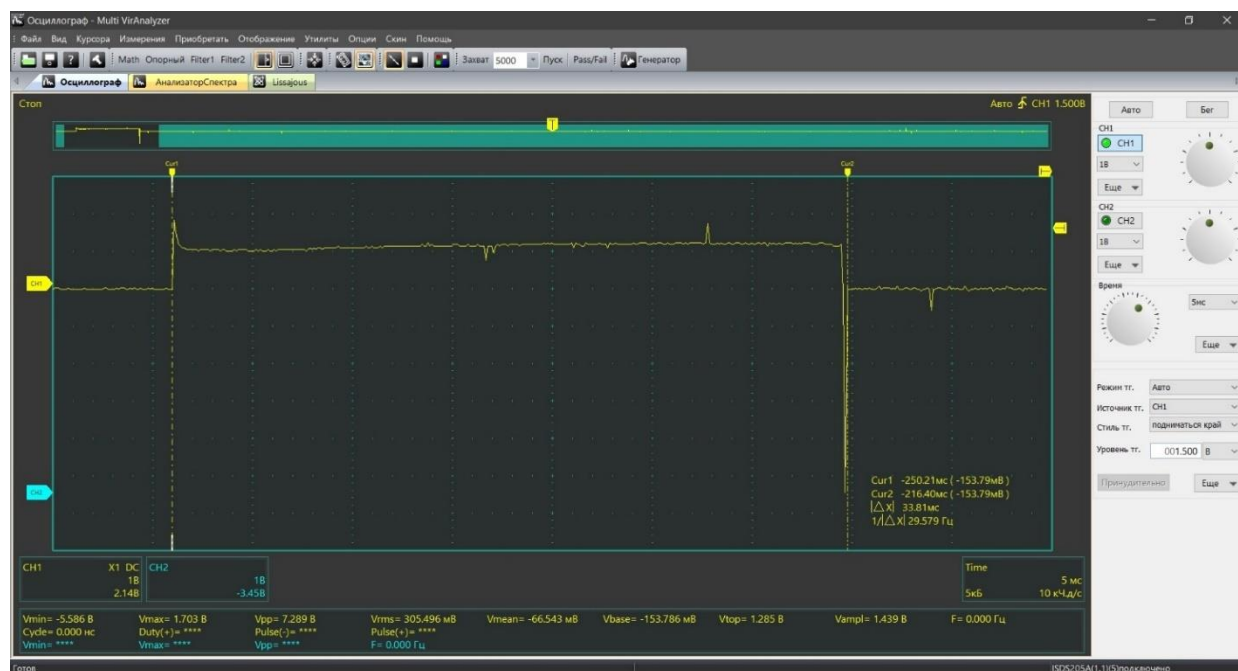


Рисунок 3.22 – Визначення тривалості часового проміжку розряду при 120% часового діапазону відкриття силових ключів

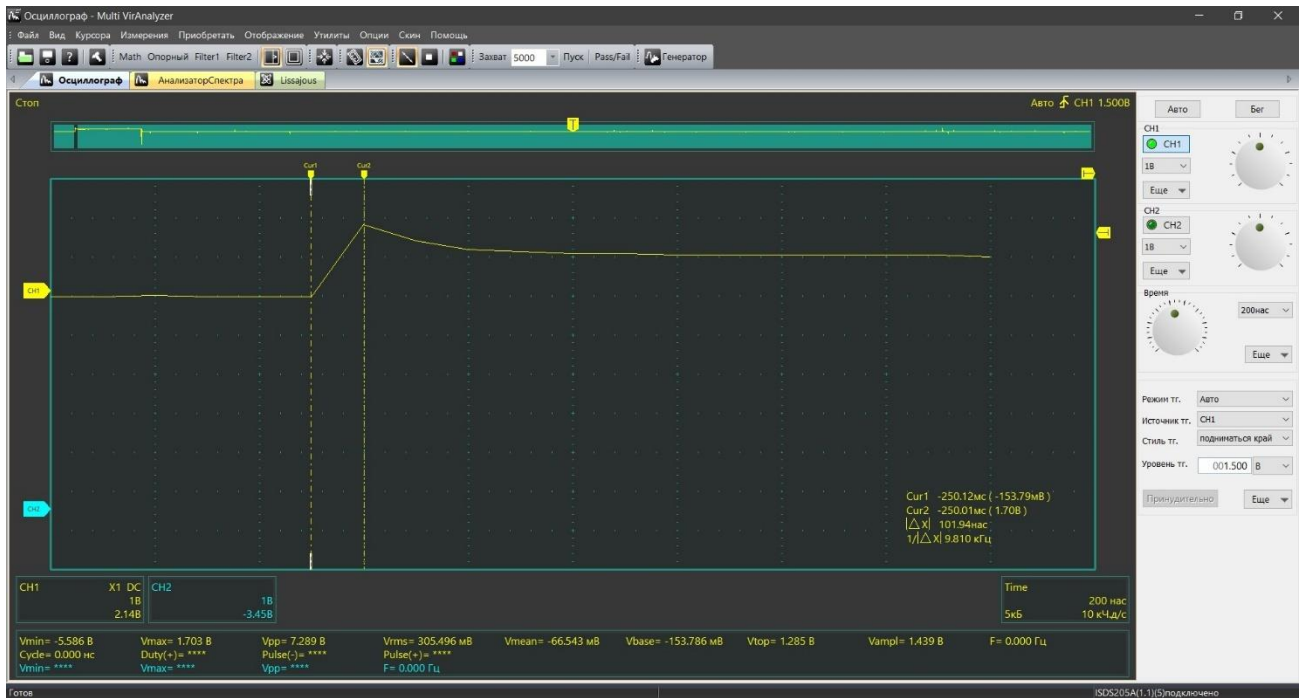


Рисунок 3.23 – Интервал часу відкриття ключа при зварюванні розряду при 20 – 120% часового діапазону відкриття силових ключів

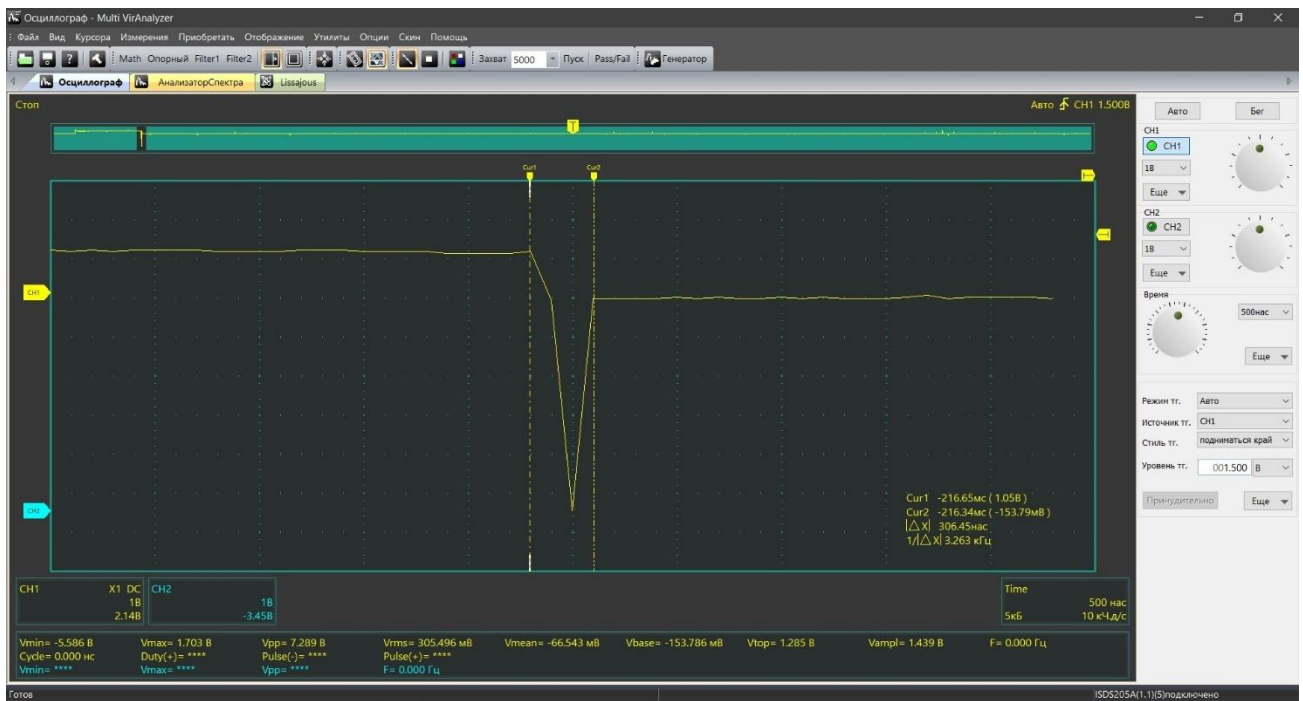


Рисунок 3.24 – Интервал часу закриття ключа при зварюванні при 20 – 120% часового діапазону відкриття силових ключів

Аналізуючи рис. (3.12 – 3.22) ми можемо помітити, що часовий проміжок імпульсу постійно зростає, це пов'язано із збільшенням тривалості процесу зварювання та зміни часового діапазону відкриття та закриття силових ключів. При цьому напруга майже не змінюється, що може свідчити про коректне спрацювання системи керування та відкриття-закриття ключів.

На рис. 3.23 та рис. 3.24 наведений часовий діапазон відкриття та закриття ключів. При різних діапазонах часу зварювання (20-120 %) вимірювання показали, що швидкість спрацювання майже ідентична, це також є підтвердженням результатів попередніх дослідів та засвідчує про коректне спрацювання ключів.

При аналізі рисунків перехідних процесів можна прослідкувати зміну довжини імпульсу, а також час закриття та відкриття ключів.

3.2 Проведення аналітичного методу дослідження ЕТК зварювання

За отриманими результатами та графічними матеріалами можна розрахувати силу струму, що протікає під час відкриття ключів. Для розрахунку використаємо стандартну формулу закону Ома:

$$I = \frac{U}{R} \quad (7)$$

Обраховую струм для першого випадку, коли сила потужності зварювальника становить 20%:

$$I_1 = \frac{U_1}{R} = \frac{1.07}{0.001} = 1070 \text{ (A)}$$

Результати, що отримано під час досліду зварювання нікелю до акумуляторного елемента занесено до таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Результати зварювання нікелю до акумуляторного елемента

Дослід №	Час імпульсу (%)	Опір шунта (мОм)	Результат дослідження				
			Напруга під час імпульсу (В)	Струм під час імпульсу (А)	Час імпульсу (мс)	Час відкриття ключів (нас)	Час закриття ключів (нас)
1	20	1	1,07	1070	9,65	107,08	304,22
2	40	1	1,21	1210	13,39	102,53	313,42
3	60	1	1,19	1190	18,32	105,76	311,67
4	80	1	1,19	1190	23,44	103,22	322,58
5	100	1	1,22	1220	28,62	106,45	309,68
6	120	1	1,22	1220	33,81	101,94	306,45

Результати експериментальних досліджень представлені на рисунках (3.25 ÷ 3.29).

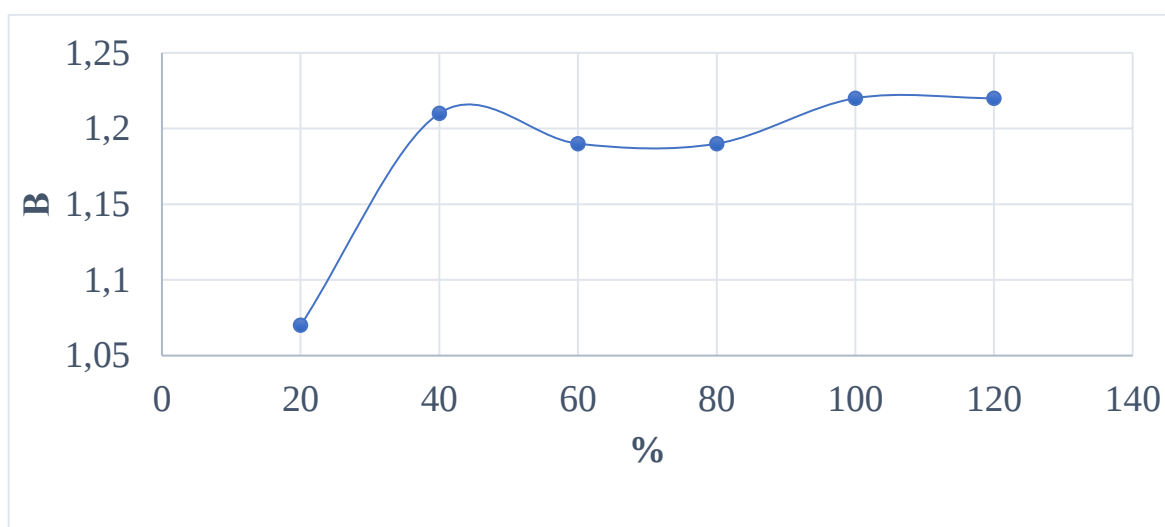


Рисунок 3.25 – Залежність напруги імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

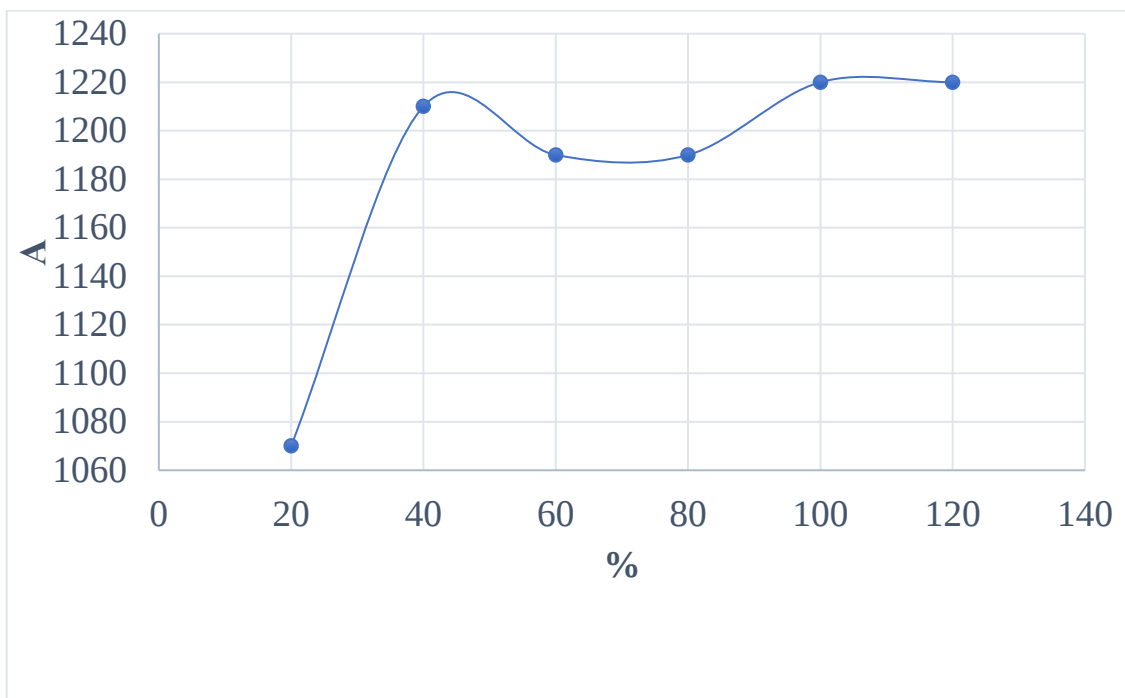


Рисунок 3.26 – Залежність сили струму імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

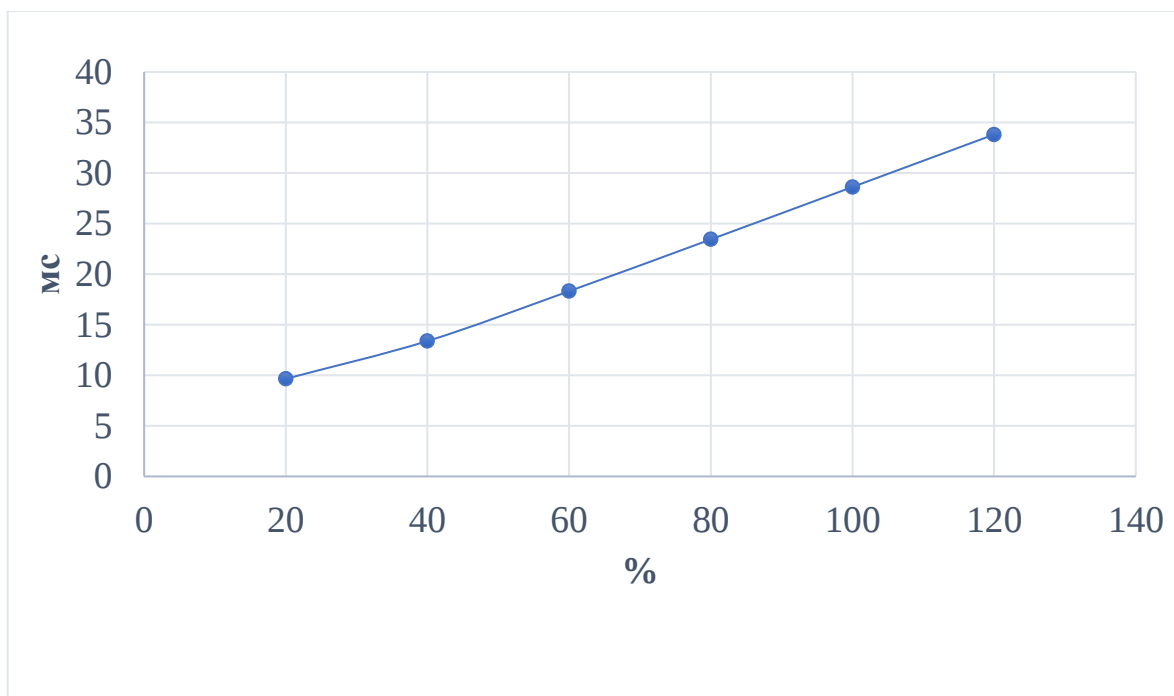


Рисунок 3.27 – Залежність часу імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

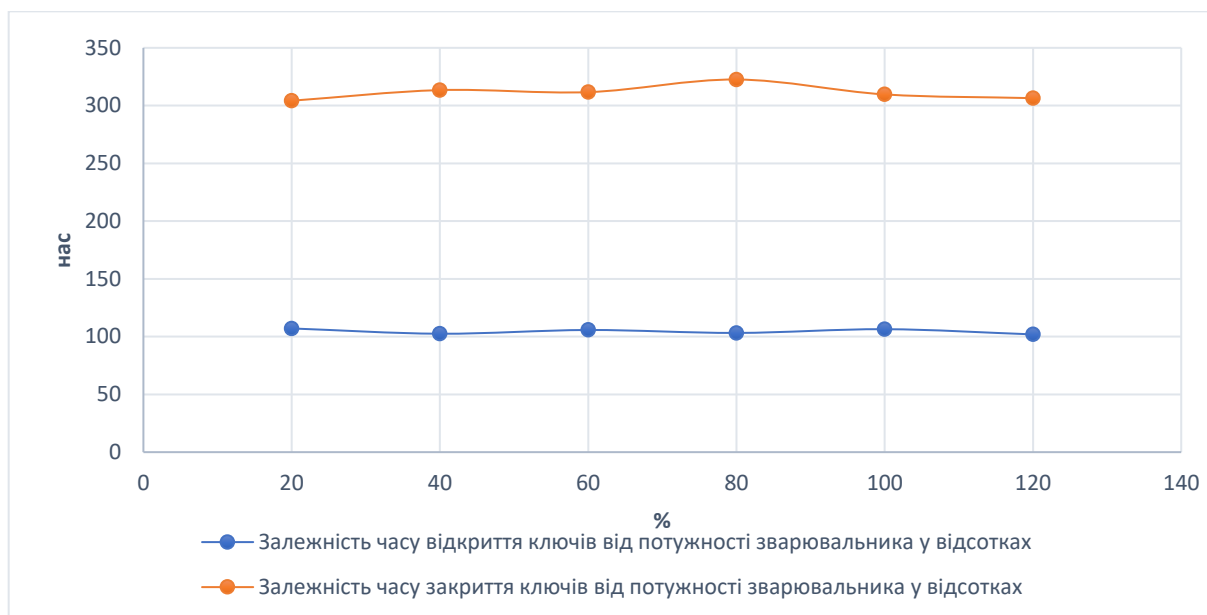


Рисунок 3.28 – Залежність часу відкриття та закриття ключів від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

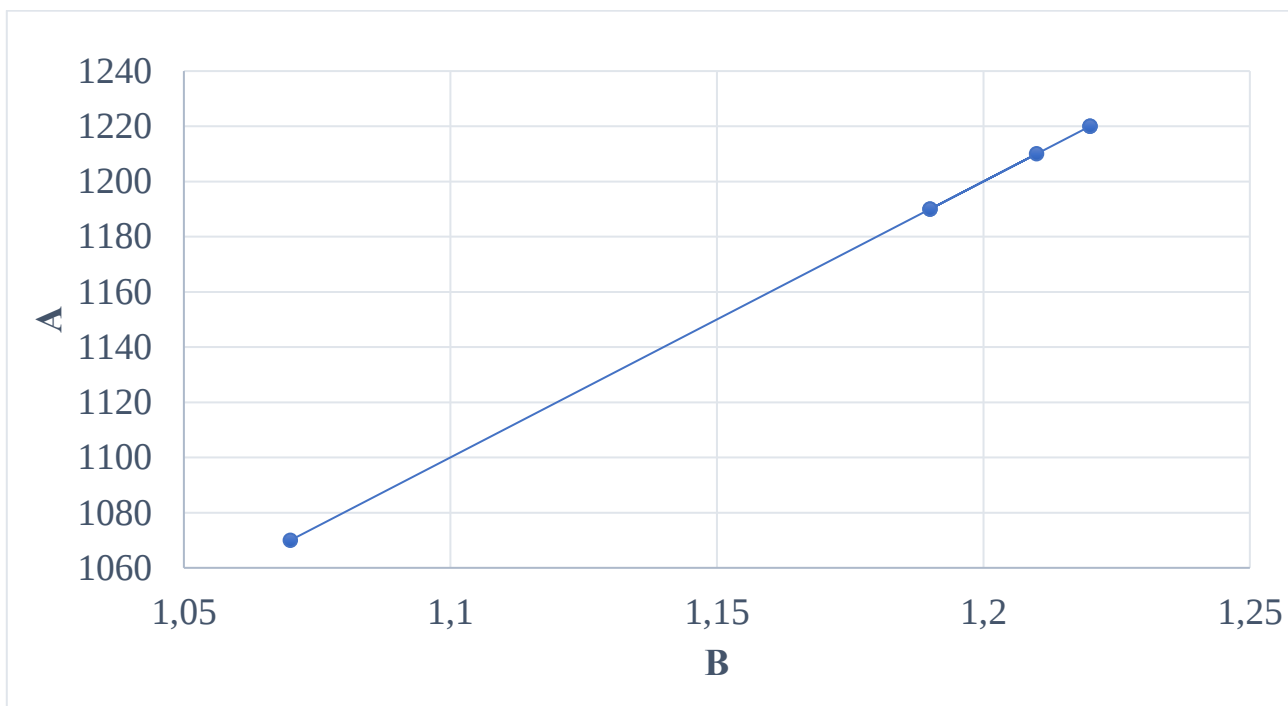


Рисунок 3.29 – Залежність струму імпульсу від напруги імпульсу

Аналіз рис. 3.25 та рис. 3.26 дозволяє зробити висновок, що напруга та струм не мають великого діапазону зміни в залежності від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів. Напруга змінюється в межах від 1 В до 1.25 В. Межі зміни струму знаходяться у діапазоні від 1050 А до 1250 А. Відслідковується тенденція зростання, як напруги, так і струму при збільшенні тривалості часового проміжку відкритого стану силових ключів.

Аналіз графіків перехідних процесів показує, що час закриття та відкриття в усіх випадках майже однаковий, що в свою чергу може означати їх коректне функціонування. Для процесу зварювання важливо обрати ключі з відповідними технічними характеристиками.

Висновки до розділу 3

В ході проведення експериментальних досліджень було досліджено зміну напруги та струму режиму зварювання в залежності від тривалості імпульсу.

В процесі виконання експерименту було використано шість елементів *Samsung 40T* для шести різних налаштувань зварювального вузла. В якості з'єднувального матеріалу полюсів акумуляторів в батарею було застосовано нікелеву пластину. Дослідження параметрів зварювання проводились при зміні часового діапазону імпульсу – тривалості часу відкритого стану. Графік перехідного процесу напруги на електродах для часу розряду тривалості імпульсу при відкритих силових ключах у 40% від номінального часового діапазону відкриття силових ключів. Крок зміни тривалості часу відкритого стану ключів змінювався від 20% до 120% номінального значення тривалості імпульсу.

За результатами досліджень зроблено висновок про те, що зміна тривалості часового імпульсу практично не впливає на величину напруги та струму в контурі зварювання.

РОЗДІЛ 4 ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЗЛА ЗВАРЮВАННЯ ПРИ ЗАМІНІ ПЛАТИ КОНТРОЛЮ ТА СИЛОВИХ КЛЮЧІВ

4.1 Дослідження функціонування вузла зварювання при зміні плати контролю

Для забезпечення алгоритмів функціонування системи керування та контролю технологічного процесу було обрано контролер *Arduino Pro* (рис. 4.1)



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд *Arduino Pro*

Arduino Pro - це версія популярної платформи *Arduino*, розроблена з урахуванням потреб професійних користувачів та розробників. *Arduino Pro* включає в себе серію плат і модулів, які пропонують розширені функціональні можливості порівняно зі стандартними платами *Arduino*, такими як *Uno* або *Nano*. Нижче наведено основні характеристики та особливості контролера *Arduino Pro* [8].

Arduino Pro часто має більш потужний процесор порівняно з базовими моделями, що дозволяє обробляти складніші завдання та запускати більш вимогливі програми. Пропонує більше портів вводу-виводу (GPIO), а також

додаткові опції підключення, такі як вбудований *Wi-Fi* або *Bluetooth*, що робить їх ідеальними для IoT проектів та розумного будинку.

Розширені Можливості Зберігання та Пам'яті. *Arduino Pro* зазвичай має більше пам'яті та можливості зберігання, що дозволяє зберігати більші програми та обробляти більші набори даних. Ці плати часто розроблені таким чином, що їх можна легко розширити за допомогою додаткових модулів або щитів. Професійна підтримка та спільнота забезпечує професійну підтримку та доступ до великої спільноти розробників та ентузіастів, що може бути корисним для розв'язання складних завдань.

Arduino Pro використовують у промислових додатках, де потрібна надійність і розширені можливості. Через свої підключення до мережі та розширені функції, плати ідеально підходять для проектів IoT. Науковці та інженери-дослідники також використовують *Arduino Pro* для прототипування та тестування нових технологій.

Однак *Arduino Pro* може бути дорожчим, ніж стандартні моделі *Arduino*. Додаткові функції можуть збільшити складність використання, особливо для новачків.

У цілому, *Arduino Pro* - це потужний інструмент електронних проектів і додатків, який пропонує значні переваги у порівнянні з базовими моделями *Arduino*.

Для реалізації алгоритмів функціонування системи на базі контролера *Arduino Pro* необхідно використати додаткову периферію, що буде в себе включати :

- вимірювач напруги та струму — датчики дозволяють відслідковувати напругу та струм у реальному часі, що є критично важливим для точного контролю процесу зварювання;

- реле часу або Solid State Relay (SSR) – використовується для контролювання часу зварювання. SSR особливо корисний для точного та швидкого управління;
- перемикачі – вмикають та вимикають апарат, а також можуть бути використані для ручного управління зварювальним процесом;
- LCD дисплей або OLED дисплей – для відображення параметрів зварювання, таких як час зварювання, струм, напруга. Для зварювального вузла доречно використати 2.8-дюймовий TFT LCD дисплей з сенсорним управлінням, який сумісний з Arduino. Цей дисплей має досить компактні розміри і забезпечує якісне кольорове відображення, а також зручне сенсорне управління (рис. 4.2);



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд 2.8-дюймового дисплея TFT LCD

- потенціометри або енкодери – необхідні для ручного налаштування параметрів зварювання;
- захисні елементи – запобіжники та варистори для захисту від перенапруги та короткого замикання;

- програмоване логічне реле – для більш складного контролю процесу зварювання;
- кнопки та індикатори – для ввімкнення/вимкнення та відображення стану зварювального апарату;
- інтерфейси з'єднання – роз'єми та клеми для підключення зовнішніх датчиків та управляючих пристроїв;
- печатна плата – місце монтажу всіх компонентів та забезпечення надійних електричних з'єднань.

Для автоматизації режимів роботи зварювального вузла застосуємо наступний код контролера *Arduino Pro*:

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
// Піни для LCD дисплея
const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
// Піни для кнопок
const int button1Pin = 2; // кнопка для навігації в меню
const int button2Pin = 3; // кнопка для вибору
const int resetButtonPin = 8; // кнопка для перезавантаження
const int powerOffButtonPin = 9; // кнопка для вимкнення
// Пін для SD картки
const int chipSelect = 10;
// Лічильники меню
int menu = 0;
int subMenu = 0;
// Початкові налаштування
```

```

void setup() {
    pinMode(button1Pin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(button2Pin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(resetButtonPin, INPUT_PULLUP);
    pinMode(powerOffButtonPin, INPUT_PULLUP);

    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("Зварювання");

    if (!SD.begin(chipSelect)) {
        lcd.print("SD fail");
        return;
    }
}

// Основний цикл
void loop() {
    navigateMenu();
    checkResetAndPowerOff();
}

// Функція навігації по меню
void navigateMenu() {
    bool button1 = digitalRead(button1Pin);
    bool button2 = digitalRead(button2Pin);

    if (button1 == LOW) {
        menu++;
        if (menu > 3) menu = 0;
        updateDisplay();
    }
}

```

```

    delay(200); // Для уникнення дребезгу }

    if (button2 == LOW) {
        subMenu++;
        if (subMenu > 2) subMenu = 0;
        updateDisplay();
        delay(200); // Для уникнення дребезгу }
    }

    // Функція оновлення дисплея
    void updateDisplay() {
        lcd.clear();
        switch (menu) {
            case 0:
                lcd.print("1. 21700");
                lcd.setCursor(0, 1);
                lcd.print("2. 18650");
                break;
            case 1:
                lcd.print("21700");
                displaySubMenu();
                break;
            case 2:
                lcd.print("18650");
                displaySubMenu();
                break;
            case 3:
                lcd.print("26700-32700");
                displaySubMenu();

```

```

        break; }
    }
    // Показ підменю
    void displaySubMenu() {
        lcd.setCursor(0, 1);
        if (subMenu == 0) {
            lcd.print("Нікель");
        } else {
            lcd.print("Мідь"); }
    }

    // Перевірка кнопок ресету і вимкнення
    void checkResetAndPowerOff() {
        if (digitalRead(resetButtonPin) == LOW) {
            resetWelder();}
        if (digitalRead(powerOffButtonPin) == LOW) {
            saveWeldingData();
            turnOffSystem(); }}

    // Ініціалізація змінних для кнопок та дисплея
    // ...

    // Піни для сенсорів
    const int currentSensorPin = A0; // Аналоговий пін для сенсора струму
    const int voltageSensorPin = A1; // Аналоговий пін для сенсора напруги

    // Переменні для зберігання даних зварювання
    String weldingData;

    // Початкові налаштування

```

```

void setup() {
    // Ініціалізація компонентів
    // ...}

    // Основний цикл
    void loop() {
        navigateMenu();
        checkResetAndPowerOff();
        collectAndSaveWeldingData();}

    // Функції обробки кнопок, дисплею, меню
    // ...

    // Функція ресету зварювальника
    void resetWelder() {
        // Можливо, потрібно відправити сигнал на пін ресету зварювальника або
        // перезавантажити програму
        // digitalWrite(resetPin, HIGH);
        // delay(10);
        // digitalWrite(resetPin, LOW);}

    // Функція вимкнення системи
    void turnOffSystem() {
        // Відправте сигнал на пін управління живленням, щоб вимкнути
        // зварювальник
        // digitalWrite(powerControlPin, LOW);}

    // Збір та зберігання даних зварювання

```

```

void collectAndSaveWeldingData() {
    // Зчитування даних із сенсорів

    float current = analogRead(currentSensorPin) * (5.0 / 1023.0) * (6600 / 5.0);
    // Перерахунок у реальний струм

    float voltage = analogRead(voltageSensorPin) * (5.0 / 1023.0) * (6600 / 5.0);
    // Перерахунок у реальну напругу

    // Записуємо дані із сенсорів у рядок
    weldingData += String(millis()) + "," + String(current) + "A," +
String(voltage) + "V\n";}

// Функція зберігання даних на SD картці
void saveWeldingData() {
    File dataFile = SD.open("welding_data.csv", FILE_WRITE);
    if (dataFile) {
        dataFile.print(weldingData);
        dataFile.close();
        lcd.print("Дані збережено");}
    else {
        lcd.print("Помилка збереження");}
    // Після збереження очищуємо дані для наступного зварювання
    weldingData = "";}

```

Даний код реалізовує відтворення на дисплеї чотирьох кнопок (рис. 4.3). Кожна з цих кнопок в програмі Arduino відповідає за певну дію:

1. *button1Pin* (кнопка для навігації в меню):

- дана кнопка використовується для переміщення по основному меню.

- коли користувач натискає цю кнопку, змінна *menu* інкрементується, що вказує на перехід до наступної опції в меню.
- якщо значення *menu* перевищує встановлену кількість опцій, воно обнуляється, тобто користувач повертається до початку меню.

2. *button2Pin* (кнопка для вибору):

- ця кнопка дозволяє вибрати підменю або параметр у межах поточного вибору в меню.
- при натисканні ця кнопка змінює значення *subMenu*, що дозволяє переглядати та вибирати різні налаштування зварювання, наприклад, різні типи матеріалів для зварювання.

3. *resetButtonPin* (кнопка для ресету):

- кнопка "*Reset*" призначена для перезапуску зварювального апарату або програми управління.
- в залежності від програми, може бути реалізована як м'який ресет (перезапуск програми) або жорсткий ресет (фізичне відключення та знову включення зварювальника).

4. *powerOffButtonPin* (кнопка для вимкнення):

- кнопка "*Power Off*" використовується для безпечного вимкнення зварювального апарату.
- при її натисканні спершу відбувається збереження усіх необхідних даних зварювання, а потім виконується процедура вимкнення обладнання.
- також може бути реалізовано відображення повідомлення про виконане вимкнення на *LCD* дисплеї.

Код, що відповідає за обробку цих кнопок, міститься в функції *loop()*, де за допомогою *digitalRead* перевіряється стан кожної кнопки, і в залежності від цього виконуються відповідні дії.

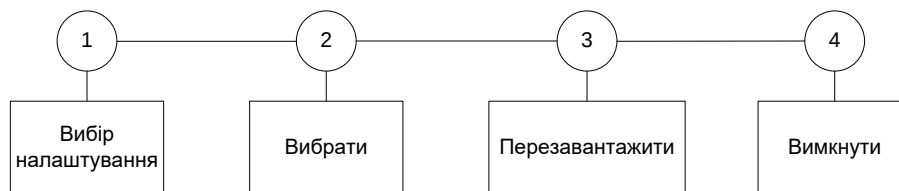


Рисунок 4.3 – Візуалізація кнопок головного меню на дисплеї

Щоб перейти до налаштувань зварювальника для вибору необхідних параметрів зварювання необхідно скористатись кнопкою «Вибір налаштувань» та відкриється нове меню. На новому вікні дисплею буде міститись інформація про вибір між трьома основними видами елементів, а саме зварювання елементів формату 18650, 21700, 26700-32700 (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Візуалізація меню вибору формату елементів та подальшого переходу до вибору параметрів

Після натиснення кнопки любого із форматів – користувач попадає в меню вибору металу, що буде в подальшому використовуватись. Зварювання відбувається із використанням двох видів металів – мідь та нікель. Коли користувач кнопкою «Вибрати» підтвердить один із металів – на дисплеї відобразиться інформація про параметри сили струму імпульсу, часовий проміжок часу від відкриття до закриття ключів, а також напруга імпульсу (рис. 4.5). Параметри для точкового зварювання кожного із елементів:

1. Зварювання елементів формату 21700:

- зварювання нікелем (час імпульсу – 10 мс, сила струму – 1100 А, напруга імпульсу – 1,1 В);
- зварювання міддю (час імпульсу – 11 мс, сила струму – 2200 А, напруга імпульсу – 2,1 В);

2. Зварювання елементів формату 18650:

- зварювання нікелем (час імпульсу – 8 мс, сила струму – 1100 А, напруга імпульсу – 1,1 В);
- зварювання міддю (час імпульсу – 15 мс, сила струму – 2200 А, напруга імпульсу – 2,1 В);

3. Зварювання елементів форматів 26700-32700:

- зварювання нікелем (час імпульсу – 11 мс, сила струму – 1100 А, напруга імпульсу – 1,1 В);
- зварювання міддю (час імпульсу – 16.5 мс, сила струму – 2200 А, напруга імпульсу – 2,1 В);

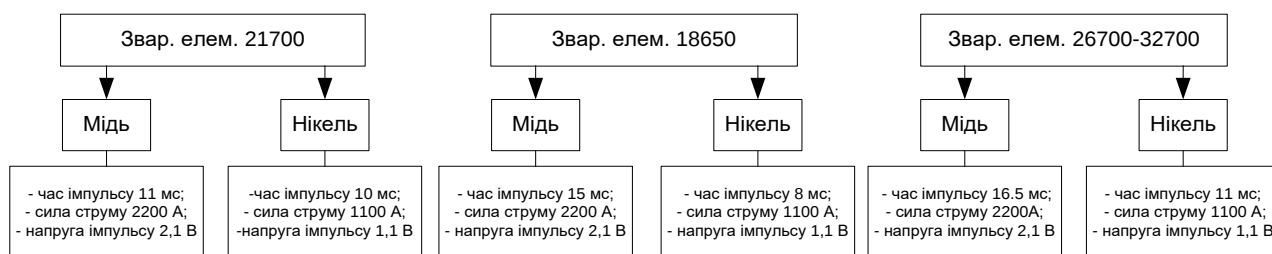


Рисунок 4.5 – Візуалізація меню вибору металу для зварювання та відтворення параметрів кожного із металів під окремий формат батареї

Даний код та його налаштування також дозволяють фіксувати та зберігати параметри процесу зварювання акумуляторних батарей на зовнішній носій *SD* картку в реальному часі, що дозволяє при використанні додаткових програм

проаналізувати коректність спрацювання зварювального апарату та його елементів. Однак збереження даних на SD карту є часозатратним процесом, тому доцільно виконувати зберігання даних в моменти, коли зварювальний апарат не виконує процес зварювання.

4.2 Дослідження показників режиму зварювання при заміни силових ключів

Основним елементом який обмежує потужність обраного вузла зварювального апарату є ключ, що має назву *AUIRFS8407-7P*. Дані ключі приєднуються паралельно для забезпечення витримування рівня струму в 1000 – 1200 А. Спеціально розроблений для автомобільних застосувань, цей *HEXFET® Power MOSFET* використовує останні методи обробки для досягнення надзвичайно низького опору відкритого каналу на площі кремнію. Додатковими особливостями цієї конструкції є велика швидкість перемикавання та поліпшена повторювана лавинна стійкість. Сукупність властивостей ключа дозволяє його ефективне використання силових схемах зварювання. [9].

Особливості ключа *AUIRFS8407-7P*:

- прогресивна технологія обробки;
- новий ультра опір у відкритому стані;
- температура експлуатації 175°C;
- швидке перемикавання;
- повторюване лавинне навантаження дозволене до t_{Jmax} ;
- безсвинцевий, відповідність RoHS.

Його параметри наведені в таблиці 4.1. Загальний вигляд ключа *AUIRFS8407-7P* представлено на рис. 4.6.

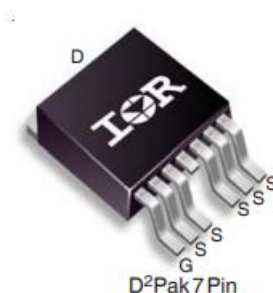


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд ключа AUIRFS8407-7P

Таблиця 4.1 Характеристики мосфета AUIRFS8407-7P.

Символ	Параметр	Макс.	Одиниці
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено кремнієм)	306	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено кремнієм)	216	A
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено корпусом)	240	A
I_{DM}	Струм стоку імпульсний	1040	A
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Максимальне розсіювання потужності	231	W
$\Delta P_D / \Delta T_C$	Лінійний коефіцієнт зменшення потужності	1.5	W/°C
V_{GS}	Напруга затвор-джерело	± 20	V
E_{AS} (Термічно обмежено)	Енергія одиночного лавинного пробою	344	mJ

Підтримання тривалості імпульсу на заданому рівні та підвищену здатність навантаження по струму може бути забезпечено використанням ключів з покращеними характеристиками. У зв'язку з неможливістю проведення натурного експерименту з використанням ключів іншого типу для аналізу можливостей обираємо ключі типу *IQDH29NE2LM5*.

Для аналізу можливостей покращення функціонування вузла зварювання електротехнологічного комплексу за рахунок заміни у силовій схемі ключів *AUIRFS8407-7P* на ключі типу *IQDH29NE2LM5* проведено розрахунок нових параметрів спрацювання ключа, числові значення яких наведені у табл. 4.2 . Обрані ключі мають покращені характеристики по струму та при під'єднанні їх в паралель тримають струм у діапазоні від 1900 А до 2100 А. Характеристики ключа наведені в таблиці 4.2. Загальний вигляд ключа зображено на рис. 4.7 [10].

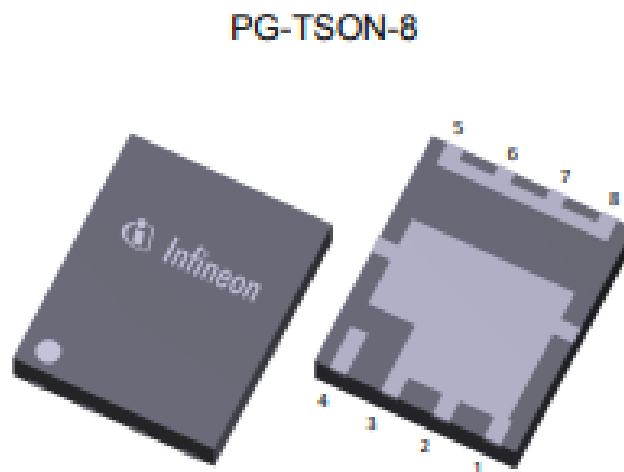


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд ключа *IQDH29NE2LM5*

Таблиця 4.2 Характеристики мосфета *IQDH29NE2LM5*

Символ	Параметр	Макс.	Одиниці
$I_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено кремнієм)	789	A
$I_D @ T_C = 100^{\circ}\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено кремнієм)	499	A
$I_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Постійний струм стоку, $V_{GS} @ 10\text{V}$ (Обмежено корпусом)	454	A
I_{DM}	Струм стоку імпульсний	3156	A
$P_D @ T_C = 25^{\circ}\text{C}$	Максимальне розсіювання потужності	278	W
$\Delta P_D / \Delta T_C$	Лінійний коефіцієнт зменшення потужності	2.5	W/°C
V_{GS}	Напруга затвор-джерело	± 20	V
E_{AS} (Термічно обмежено)	Енергія одиночного лавинного пробою	1200	mJ
T_J	Робочий та температурний діапазон зберігання	-60 до +190	°C
T_{STG}	Температура паяння, на 10 секунд (1.6мм від корпусу)	300	°C

Результати розрахунку параметрів спрацювання зварювального вузла із використанням ключів типу *IQDH29NE2LM5* наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 Результати розрахунків при використанні ключів типу *IQDH29NE2LM5*

Дослід №	Час імпульсу (%)	Опір шунта (мОм)	Результат дослідження				
			Напруга під час імпульсу (В)	Струм під час імпульсу (А)	Час імпульсу (мс)	Час відкриття ключів (нас)	Час закриття ключів (нас)
1	20	1	2,01	2010	4,13	97,02	302,87
2	40	1	2,1	2100	9,21	97,98	309,45
3	60	1	2,05	2050	13,78	99,23	305,67
4	80	1	2,11	2110	18,45	101,89	308,55
5	100	1	2,12	2120	23,9	100,76	303,34
6	120	1	2,11	2110	28,09	98,74	307,09

Результати розрахункових досліджень представлені на рисунках (4.8÷4.14).

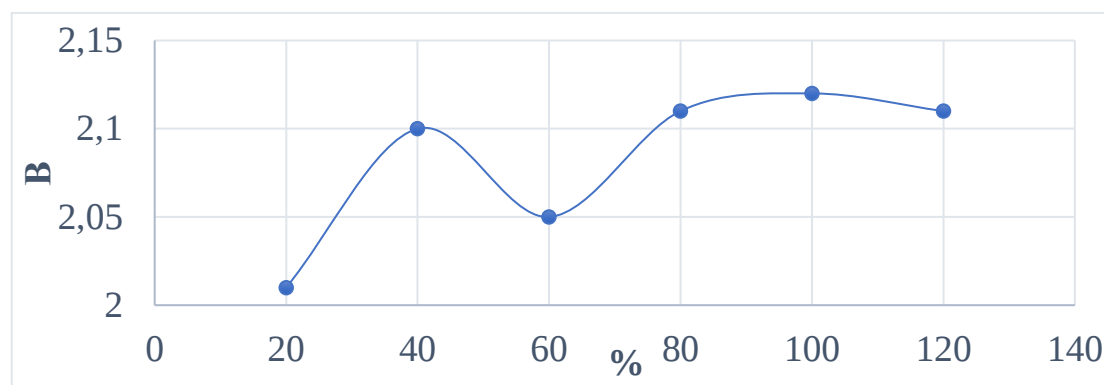


Рисунок 4.8 – Залежність напруги імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

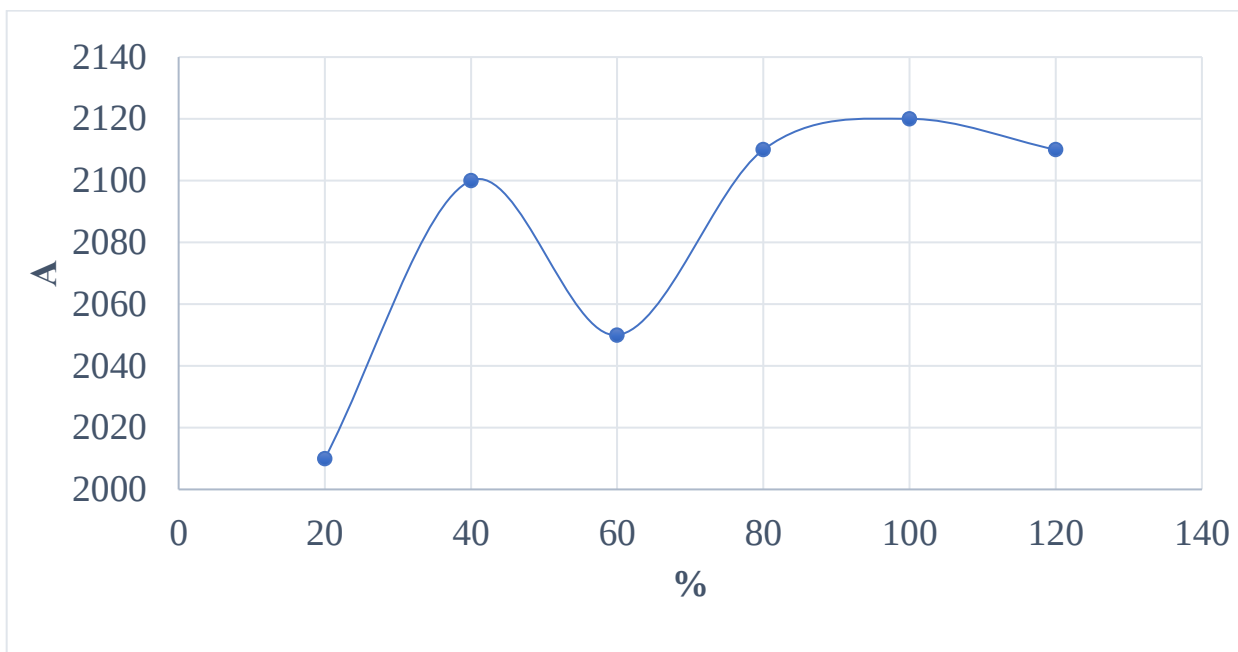


Рисунок 4.9 – Залежність сили струму імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

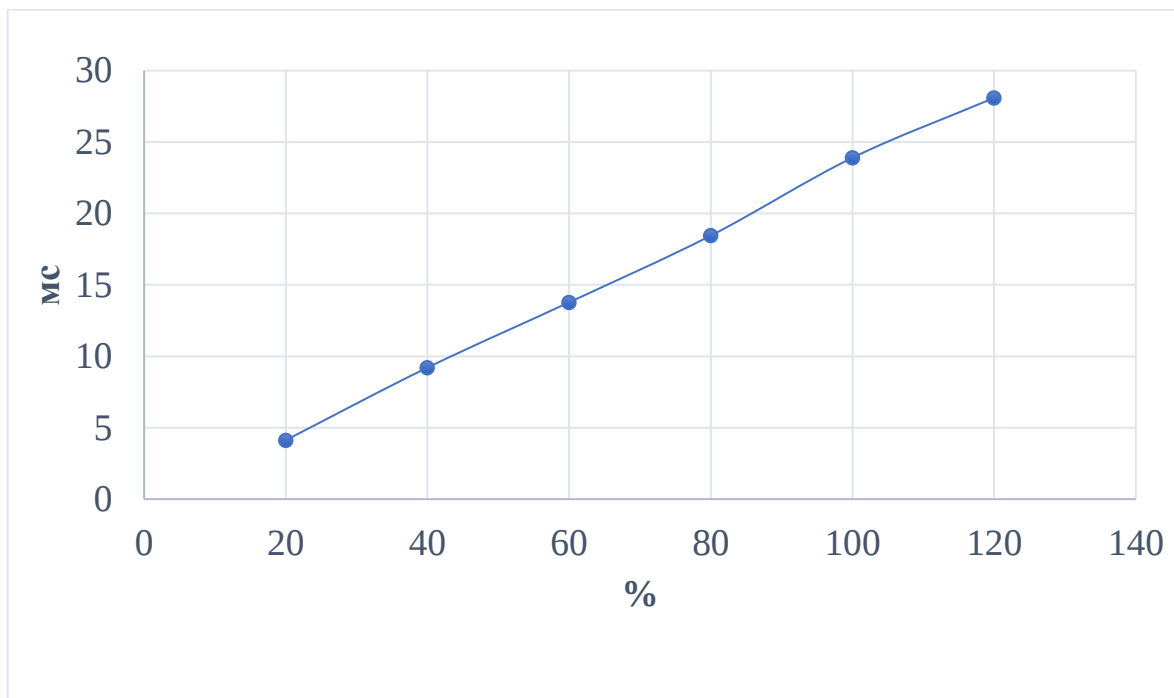


Рисунок 4.11 – Залежність часу імпульсу від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

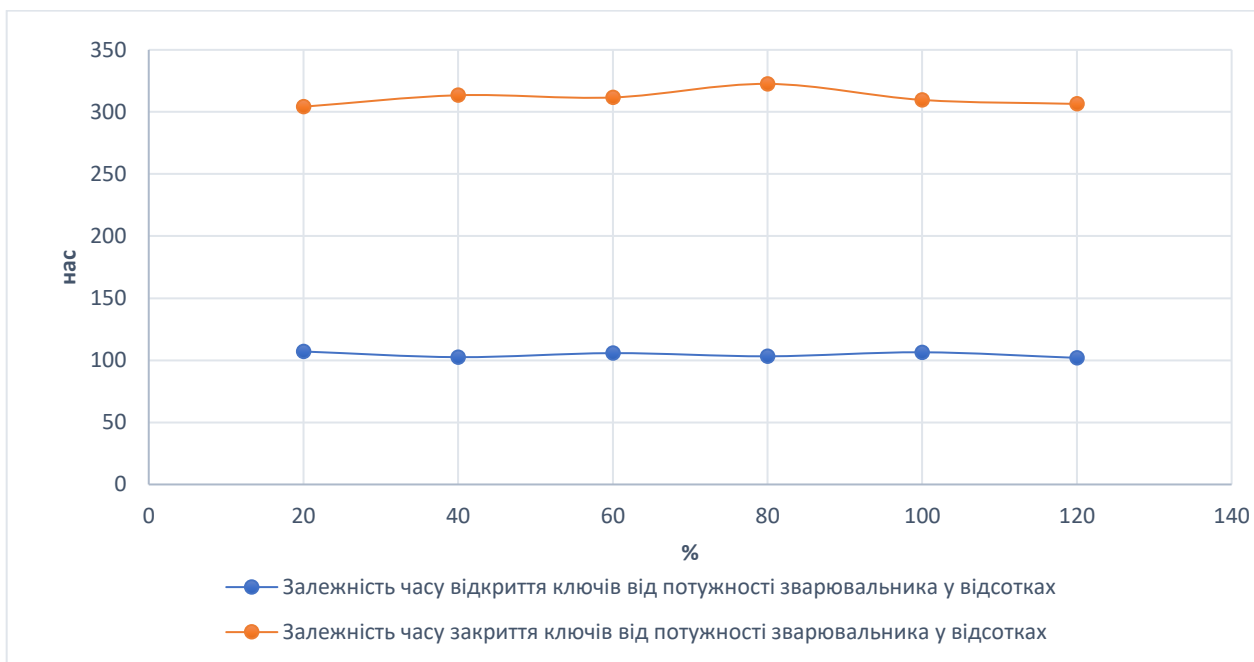


Рисунок 4.12 – Залежність часу відкриття та закриття ключів від тривалості часового діапазону відкритих силових ключів

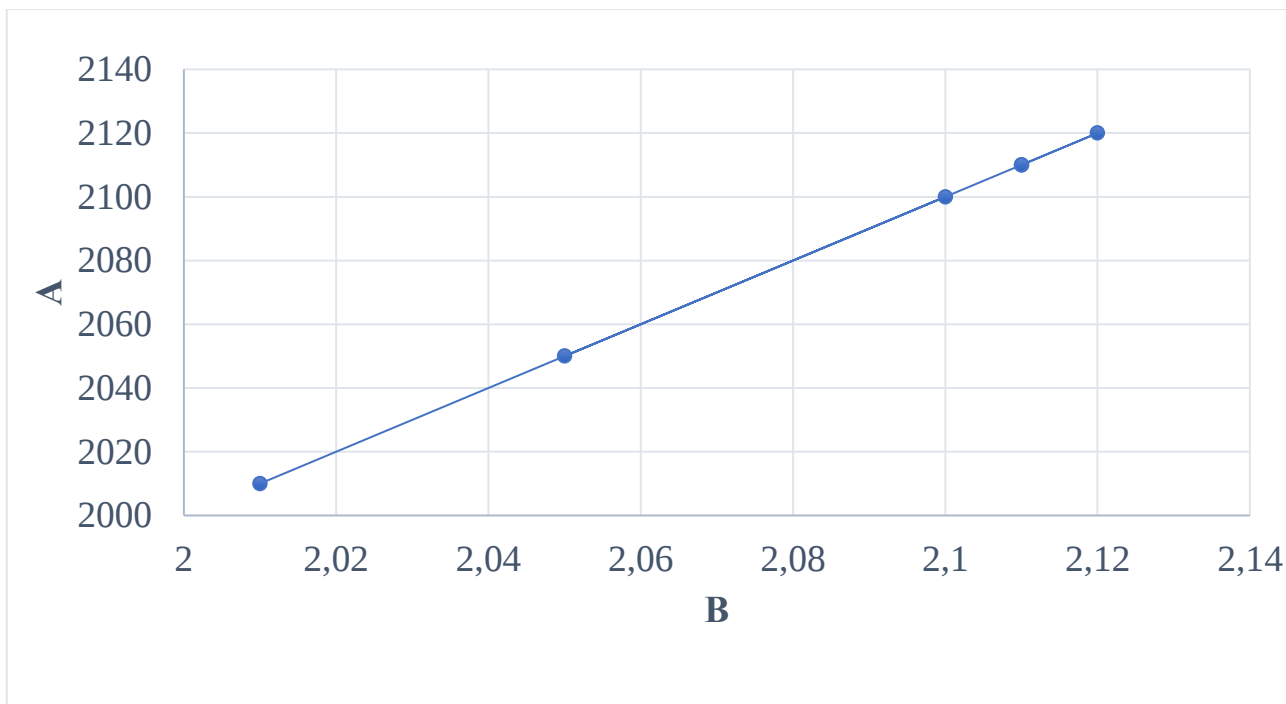


Рисунок 4.13 – Залежність струму імпульсу від напруги імпульсу

Аналіз графіків від рис. 4.8 до рис. 4.13, показує, що при скороченні часу проходження імпульсу в 2 рази – величина струму збільшилась в 2 рази. Це

означає, що при новій здатності проходження більшого струму з'являється можливість використовувати більш економічно зварювальну установку. Як наслідок – зменшиться час зварювання одиниці виробу.

Висновки до розділу 4

В даному розділі було розроблено алгоритми роботи вузла зварювання в автоматичному режимі та проведені дослідження його функціонування при зміні плати контролю, що підтримує виконання алгоритмів коректної роботи вузла зварювальника ЕТК, та заміні типу силових ключів.

Для забезпечення функціонування вузла зварювання в автоматичному режимі було обрано контролер *Arduino Pro*. На базі даного контролера та додаткової периферії для створення схеми сигналів було розроблено нове кодування, що дозволяє систематизувати отриманні експериментальні дані, а також покращує процедуру налаштування. В попередній версії зварювального вузла налаштування потребувало експериментального підходу. Із застосуванням нового контролера з новим кодуванням налаштування відбувається в рази швидше. Використовуючи цей контролер можна самостійно одразу обрати режим та параметри зварювання (рис. 4.4, рис. 4.5).

Проведено дослідження роботи зварювального вузла ЕТК за рахунок заміни існуючих ключів AUIRFS8407-7P на варіанти типу IQDH29NE2LM5. Розрахункові параметри нових ключів демонструють покращення струмових характеристик і можуть ефективно працювати при паралельному підключенні, підтримуючи струм у діапазоні від 1900 до 2100 А

РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї проєкту

Проектування та дослідження автоматизації точкового зварювання є актуальним та вигідним в сучасній акумуляторній промисловості. Ідея полягає у впровадженні економічно-якісної моделі зварювання при застосуванні розробленої системи режиму автоматизації роботи вузла зварювання. Впровадження стартап-проєкту дозволяє виробнику на ринку бути прибутковим та мати змогу конкурувати. Можливість швидкого збільшення виробництва та його гнучкість дозволяє бути виробником широкої лінійки виробів. В даному стартап проєкті є можливість в подальшому розвивати розроблену автоматизацію та перевести вузол зварювання на рівень машинного та роботизованого виробництва.

Нижче наведена таблиця (табл. 5.1), що описує основну позицію стартап - проєкту. Додатково наведено приклад визначення розкриття потенційного покупця та місце ідеї на ринку даної ніші.

Таблиця 5.1 – Опис головного задуму стартап-проєкту

Головний задум ідеї	Напрямки застосування стартап-проєкту	Сильні сторони зі сторони покупця
Головна ціль запропонувати потенційному клієнту перейти на більш економічно вигідний та меш енергетично затратний автоматизований процес точкового зварювання	1. Надійність у виробленні продукції в ніші виготовлення акумуляторних збірок	Впевненість у придбаному продукті
	2. Застосування інноваційних технологій та розробка/покращення власних рішень	Можливість отримати доступ до інноваційних рішень
	3. Краща економічна собівартість на ринку	Зниження витрат на придбання продукції даної ніші

Опираючись на позитивні сторони задуму зі сторони продавця та покупця даний задум можна розглядати як конкурентноспроможний.

5.2 Аудит технологічних можливостей компанії

Одним із важливих аспектів запуску стартап-проєкту є аудит технологій. Технологічні можливості прямо впливають на порядок та структуру реалізації оптимальної та економічної бізнес моделі стартап-проєкту. Також технологічні можливості – це ключ до здійснення задуму ідеї автоматизації вузла зварювання. Загальний приклад та розбирання технологічних складових відображено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Технологічне виконання стартап-проєкту

№ п/п	Загальна ідея проєкта	Технології реалізації	Наявність	Доступність
1	Знаходження оптимальних рішень для ручного точкового зварювання	<i>Matlab Simulink</i>	Наявна	Доступна
		<i>Multisim</i>	Наявна	Доступна
		<i>Proteus Design</i>	Наявна	Доступна

Matlab Simulink - це платформа для моделювання та симуляції динамічних систем, яка працює в середовищі *MATLAB*. *Simulink* використовується для створення графічних схем, що дозволяє інженерам і науковцям легко моделювати, аналізувати та симулювати різні системи та процеси, включаючи автоматизу, фізичні системи, обробку сигналів та комунікаційні системи.

Multisim - це програмне забезпечення для схемотехнічного моделювання та електронного дизайну, розроблене компанією *National Instruments*. Програма дозволяє проєктувати та тестувати електронні схеми в віртуальному середовищі перед практичним здійсненням. *Multisim* включає в себе розширену бібліотеку електронних компонентів та інтегровані інструменти для аналізу схем.

Proteus Design Suite - це програмний пакет для автоматизованого проєктування електронних схем (*ECAD*). Він включає в себе можливості створення схем, симуляції мікроконтролерних систем та розробки друкованих плат (*PCB*). *Proteus* відомий своєю здатністю до детальної симуляції мікропроцесорів, з'єднань та інших компонентів схеми у реальному часі.

5.3 Аналіз ринкової можливості старту проєкту

У таблиці 5.3 та таблиці 5.4 наведено перелік факторів позитивного та негативного характеру. Дані фактори повинні бути обов'язково врахованими при ринковому впровадженні ідеї стартап-проєкту.

Таблиця 5.3 – Фактори які можуть бути загрозливими

№ п/п	Фактор загрози	Сутність фактору загрози	Можлива реакція власного бізнес проєкту
1	Пряма та не пряма конкуренція	Відтворення або винайдення аналогічного підходу та зменшення вартості відносно ринкової задля утримання на ринку даної ніші	Зниження ціни, пониження рентабельності та маржинальності
2	Нестача ресурсної бази	Виражається у затримках утворення досвідченої команди та надання сировинної бази для роботи	Пряма втрата заробітку від виробітку.

Таблиця 5.4 – Фактори, що відкривають нові можливості

№ п/п	Фактори можливостей	Сутність фактору можливості	Можлива реакція власного бізнес проєкту
1	Підвищення якості та надійності виробленої продукції	Оновлення старих та створення нових конфігурацій виробництва	Рекламні проєкти та залучення нової клієнтської аудиторії

Кінець таблиці 5.4

2	Оперативне налаштування під оновлення на ринку та покращення устаткування	Передова та економічно вигідна позиція на ринку	Розвиток за рахунок інвестування. Власний розвиток виробництва за власні кошти через збільшення прибутку
---	---	---	--

Завершальним кроком у проведенні аналізу можливостей для впровадження проєкту є складання SWOT-аналізу. Ця матриця включає в себе оцінку сильних (*Strengths*) і слабких (*Weaknesses*) сторін проєкту, а також виявлення потенційних загроз (*Threats*) і можливостей (*Opportunities*) на ринку. Результати SWOT-аналізу можуть бути використані для визначення оптимального варіанту впровадження на ринок.

Перелік ринкових загроз і можливостей формується на основі аналізу факторів, які впливають на ринок і мають потенціал впливу на проєкт. Ринкові загрози і можливості є результатами прогнозування можливого впливу цих факторів на ринок. Наприклад, зниження доходів потенційних споживачів є фактором загрози, оскільки це може призвести до збільшення значущості цінового фактору при виборі товару і, відповідно, до зростання цінової конкуренції, яка є ринковою загрозою.

Загальний результат аналізу сильних і слабких сторін проєкту допоможе визначити альтернативи для впровадження на ринок. SWOT-аналіз є важливим інструментом для формулювання стратегії і вирішення, яким чином проєкт може найкраще використовувати свої переваги та нейтралізувати загрози, одночасно вдосконалюючи свої сильні сторони і зменшуючи слабкі.

Сильні сторони ідеї та впровадження робочої моделі відкриття компанії по ручному точковому зварювання акумуляторних батарей:

- *низькі витрати на обладнання.* Ручні точкові зварювальники зазвичай менш вартісні і вимагають менше підтримки, ніж автоматизовані системи.
- *гнучкість.* Ручне зварювання може бути використане для обробки невеликих партій різних розмірів та форм батарей.
- *контроль якості.* Оператор може керувати процесом зварювання, що дозволяє підвищити якість та надійність зварювальних з'єднань.

Слабкі сторони стартап проєкту:

- *людський фактор.* Ручне зварювання може бути вразливим до помилок оператора, що може призвести до браку та зниження якості продукту. Кожен відбракований виріб на різних етапах може спричинити затримку поставок та виконання підписаних договорів із замовником.
- *потреба в навчанні.* Оператори повинні бути навчені та сертифіковані для виконання точкового зварювання. Час та затрати на навчальний період часто можуть стати критичними для компанії, особливо на ранній стадії розвитку. При навчанні нових працівників можуть бути задіяні спеціалісти різних технічних процесів, що зменшить виробіток та призведе до затримання часу видачі вироблення продукції.
- *швидкість виробництва.* Ручне зварювання може бути повільнішим порівняно з автоматизованими процесами. При гнучкому підході під замовників швидкість може стати критичною при великих об'ємах зварювання. Однак даний

недолік стартап-проєкту вирішується при розростанні компанії та запровадження різного виду автоматизацій на виробництві. Окремі технічні задачі стають однотипними та можна задіяти роботизовану техніку та конвеєри.

- *складне економічне становище в країні.* Виготовлення власної сировини для подальшої обробки, або її постачання в часи активної війни завжди буде вразливою точкою виробництва, що може негативно вплинути на терміни виконання та призвести до втрати статусу «надійного» партнера.
- *конкуренція.* В часи динамічного технічного та інноваційного розвитку даної ніші буде наявна постійна загроза програти новим рішенням. Потрібно постійно підтримувати динамічний розвиток компанії.

Для автоматизації виробництва необхідно застосувати 3 основні фактори, що в разі збільшать продуктивність та виробництво:

- *автоматизація.* Встановлення автоматизованих систем для точкового зварювання може покращити швидкість та якість виробництва.
- *використання роботів.* Використання роботів для точкового зварювання може знизити вплив людського фактору та підвищити продуктивність.
- *системи контролю якості.* Впровадження систем контролю якості може допомогти вчасно виявити та усунути дефекти зварювання.

5.4. Пророблення стратегії виходу на ринок.

Обравши фокусування на конкретному ринковому сегменті, підхід до розробки проєкту буде цілеспрямованим. Для розвитку вирішили використати

стратегію відмінності, яка полягає в наданні продукту унікальних характеристик, важливих для клієнта, що підкреслюють його унікальність на тлі продукції конкурентів. Таке розрізнення може бути засноване на реальних чи сприйнятих, помітних або непомітних особливостях продукції, існуючих як насправді, так і в уявленнях споживачів. Маркетингове позиціонування служить ключовим механізмом для втілення стратегії диференціації.

Планування маркетингової стратегії починається з визначення підходу до захоплення ринку, включаючи ідентифікацію цільових споживачів (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Стратегія виходу на ринок

№ п/п	Опис цільової групи/клієнта	Готовність до співпраці	Можливий попит цільової аудиторії	Наявність конкурентних пропозицій	Рівень складності зайняти нішу у сегменті
1.	Державні компанії та органи енергетичного сектору	Часткова готовність до діалогу	Високий	Помірний	Помірний
2.	Цивільна аудиторія	Часткова готовність до діалогу	Високий	Низька	Простий
3.	Військова аудиторія	Повна готовність до діалогу	Високий	Низька	Простий

Кінець таблиці 5.5

4.	Інвестори	Повна готовність до діалогу	Помірний	Помірна	Помірний
5.	Виробники енергоємних приладів	Повна готовність до діалогу	Високий	Висока	Складний

В більшості випадків маркетинг та стратегія компанії фокусується на одній із проаналізованих груп орієнтованого клієнта. Однак в даному випадку при співпадині легкого входу бізнесу даної області на ринок військових та цивільних одночасно може бути тісно пов'язаним. Саме через це обирається фокус більш ширшої групи.

Робота із аудиторією для військових дозволяє отримати доступ до нових технологій, полігону випробувальних можливостей та реалізації нових ідей. Разом з цим якщо виходити в сегмент збірки акумуляторних батарей на цивільному ринку в результаті ти будеш видавати «відшліфований» виріб в різних аспектах.

Важливо зазначити, що можливість захопити дві широкі аудиторії можлива лише за рахунок підвищення рівня автоматизації, вигіднішої ціни та низької конкуренції. При умові, що хоча б один пункт пропаде – дана стратегія не є здійсненою.

5.5. Маркетингова програма стартап-проєкту

П'ятирівнева система маркетингу має вигляд наступний:

1. Послуги по виготовленню.
2. Послуги по необхідному монтажу.

3. Сервісні послуги консультування та супровід клієнта.
4. Послуги по апгрейдам та модифікації.
5. Послуги по підтримці та гарантійному (після гарантійному) обслуговуванні.

Нижче наведена таблиця, що включає основні переваги потенційного товарного асортименту (табл. 5.6)

Таблиця 5.6 – Ключові переваги потенційного товару.

№ п/п	Потреби обраних клієнтів	Вигоди клієнтів, яка пропонується у вигляді товару	Сильні сторони перед конкурентами
1	Якість та надійність	Індивідуальний підбір оптимальних умов та потреб для виготовлення під клієнта	Індивідуальність підходу
2	Об'єм даних про продукцію	Аналіз та якість проведення масштабних тестуючих заходів	Повний спектр необхідної інформації
3	Повна підтримка клієнта та розширення асортиментної бази	Створення новинок та постійне підтримання діалогу із клієнтом	Врахування індивідуальних побажань
4	Вчасність виконання поставок	Створення спокійного та надійного простору в зайнятому сегменті	Врахування спокою та нервів клієнтів

Кінець таблиці 5.6

5	Робота за законодавством України та із відповідною сертифікацією	Відкриті обороти коштів та відкритість перед системою податків України	Захищеність від рейдерських та не законних атак з боку конкуренції, не доброчесних органів контролю
---	--	--	---

Підхід, який застосовується компанією для уважного аналізу та узгодження використання своїх різноманітних каналів спілкування з ринком, відомий як стратегія маркетингових комунікацій, детально описаний у таблиці 5.7. Головна його ціль - забезпечити інформування, вплив та постійне нагадування клієнтам та ринковим операторам про продукти компанії та її активності.

Таблиця 5.7 – Стратегія маркетингових комунікацій

№ п/п	Канали комунікації	Ключові позиції	Завдання рекламної кампанії	Концепція реклами
1.	Інтернет та кол-центр	Надійність, повний пакет інформації	Зацікавити потенційного клієнта	Достовірність, актуальність, надійність
2.	Інтернет та кол-центр	Надійність, повний пакет інформації	Зацікавити потенційного клієнта	Достовірність, актуальність, надійність

Кінець таблиці 5.7

3.	Інтернет та кол-центр	Надійність, повний пакет інформації	Зацікавити потенційного клієнта	Достовірність, актуальність, надійність
4.	Інтернет та кол-центр	Надійність, повний пакет інформації	Зацікавити потенційного клієнта	Достовірність, актуальність, надійність
5.	Інтернет та кол-центр	Надійність, повний пакет інформації	Зацікавити потенційного клієнта	Достовірність, актуальність, надійність

Висновок до розділу 5

Було розроблено та описано стартап-проект, головна ідея якого була у підвищенні якості сегменту вироблення акумуляторних та ємнісних елементів на ринку за рахунок автоматизації роботи зварювального вузла та заміни силових ключів на новий тип ключів.

Було проведено аналіз ринку та проаналізовані сильні та слабкі сторони задуму. Отриманні результати показали, що основними складнощами може бути посилення питання конкурентної спроможності, а також цінова політика та дорога вартість продукції.

Даним загрозам можна протиставити збалансовану та широку маркетингову компанію, а також зниження ціни на продукцію за рахунок автоматизації вузла зварювання електротехнічного комплексу, а в подальшому інших важливих вузлів ЕТК.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК ДИСЕРТАЦІЇ

В даній роботі розглядається акумуляторний виріб із акумуляторних батарей Samsung 40T з визначеними характеристиками (див. таблицю 2.1) для створення експериментального акумуляторного блоку у конфігурації 6s2p. Було визначено основні параметри збірки: загальна номінальна напруга – 21.6 В, ємність – 8000 мАгод, стандартний струм розряду – 70 А, максимальний струм розряду – 90 А, та опір – 30 мОм.

В ході проведення експериментальних досліджень було використане обладнання: точковий зварювальник на іоністорах: осцилограф Instrustar ISDS205A, тестер внутрішнього опору YAOREA YR1035+ та блок живлення ADP-30JH 30W. Під час підготовки до дослідницької частини проєкту було здійснено виміри внутрішнього опору зварювального вузла, включаючи опір обох електродів та суперконденсаторів, що є критично важливим для точних розрахунків струму згідно із законом Ома.

Дослідження виконувалось для шести елементів Samsung 40T при шести різних режимах роботи. У якості з'єднувального матеріалу полюсів акумуляторів використовувалась нікелева пластина. Налаштування зварювального агрегату полягали у зміні часового діапазону імпульсу від 20% до 120% тривалості номінального часу відкритого стану ключів.

Для оновлення роботи контрольної плати, яка забезпечує ефективну реалізацію алгоритмів функціонування зварювальника був вибраний контролер *Arduino Pro*. Використання цього контролера разом з додатковим обладнанням дозволило створити нову схему для обробки сигналів, що покращує збір та організацію експериментальних даних, а також полегшує налаштування зварювального устаткування.

Застосування теоретичного методу дозволило обрати нові ключі. Було проведено аналіз роботи зварювального вузла ЕТК за допомогою заміни існуючих ключів AUIRFS8407-7P на більш ефективні IQDH29NE2LM5. Нові ключі забезпечують покращення характеристик струму, здатні ефективно працювати при паралельному підключенні, підтримуючи струм в діапазоні від 1900 А – 2100 А.

Розроблено стартап-проект, який має на меті покращити якість виготовлення акумуляторів і ємнісних компонентів на ринку, фокусуючись на автоматизації зварювального процесу та оновленні силових ключів. Проведений аналіз ринку виявив потенційні перешкоди, включаючи питання конкурентоспроможності та високі витрати на виробництво. Однак, ці ризики можуть бути зменшені завдяки ефективній маркетинговій стратегії та зниженню виробничих витрат через автоматизацію ключових елементів виробництва.

Перелік використаних джерел

1. Розуміння явища термічного руйнування в Li-ion акумуляторах П. Г. Балакрішнан, Р. Рамеш, А. Р. Кулькарні та ін. J. Power Sources, 2006. (дата звернення 01.09.2023)
2. Огляд параметричного аналізу для моделей літій-іонних акумуляторів Х. Вей, С. Бан, Д. Ву та ін. J. Power Sources, 2014. (дата звернення 01.09.2023)
3. Від літій-іонних до натрій-іонних акумуляторів: переваги, виклики та сюрпризи. Н. С. Чой, З. Чен, С. А. Фройнбергер та ін. Angewandte Chemie International Edition, 2012. (дата звернення 01.11.2023)
4. Попередня специфікація продукту: Літій-іонний акумулятор для електроінструментів, назва моделі. SamsungSDI, Ed.,: INR21700-40T, 2017. (дата звернення 01.11.2023)
5. Методики зварювання елементів акумулятора та результуючий електричний контактний опір. М. J. Brand, Р. А. Schmidt, М. F. Zaeh та А. Jossen, Journal of Energy Storage, vol. 1, № 2015. – № 1. – С. 7–14.
6. Tata Steel Europe Limited, Hilumin® Ultra-Clean нікельована сталь. 2013 рік. (дата звернення 01.11.2023)
7. Параметричне дослідження точкового зварювання між елементами літій-іонної батареї та з'єднувачами з листового металу. Manop Masomtob, Rawitat Sukondhasingha, Jan Becker та Dirk Uwe Sauer Engineering journal Том 21 Випуск 7, ISSN 0125 8281. (дата звернення 01.11.2023)
8. Початок роботи з продуктами Arduino [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Guide> (дата звернення 21.12.2023).
9. International IOR Rectifier. AUIRFS8407-7P HEXFET® Power MOSFET. – Режим доступу [Електронний ресурс]:

(<https://www.infineon.com/dgdl/aurfs84077p.pdf?fileId=5546d462533600a4015355b71d0614e5>) (дата звернення 20.12.2023)

10. International IOR Rectifier. IQDH29NE2LM5CG HEXFET® Power MOSFET [Електронний ресурс]. – Режим доступу: (<https://www.infineon.com/cms/en/product/power/mosfet/n-channel/iqdh29ne2lm5/>) (дата звернення 20.12.2023)

Додаток А

Коментарі до розділу 2

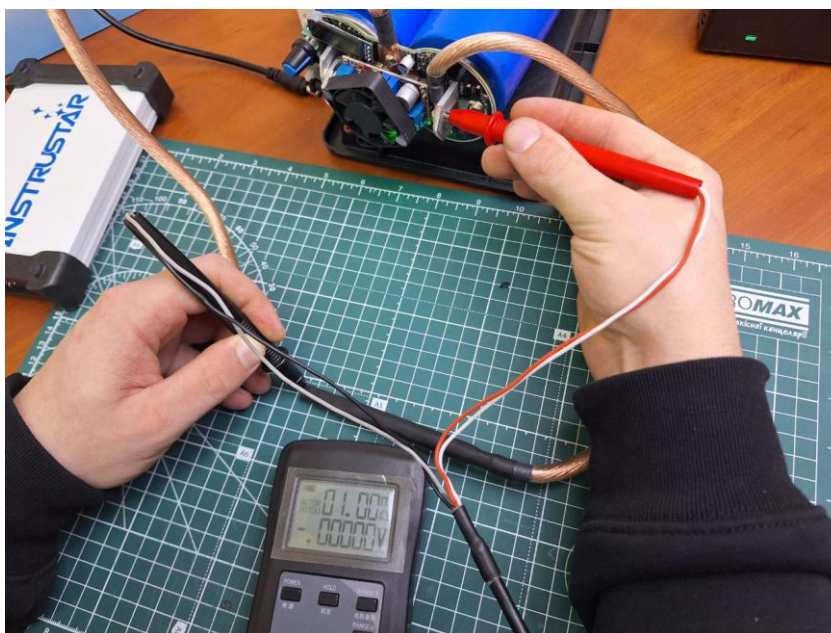


Рисунок А.1 – Вимірювання внутрішнього опору на правому електроді

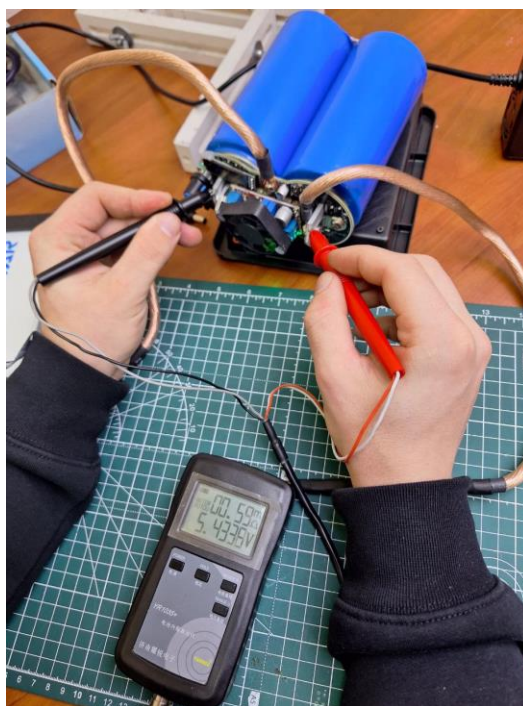


Рисунок А.2 – Вимірювання внутрішнього опору суперконденсаторів

Додаток Б
Коментарі до розділу 3



Рисунок Б.1 – Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 60%



Рисунок Б.2 – Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 80%



Рисунок Б.3 – Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 100%



Рисунок Б.4 – Зварювання пластини з нікелю до мінусового контакту елемента при проміжку часу відкритих ключів у 120%