

Шифр „ НАДІЙНІСТЬ АКУМУЛЯТОРА ”

НАПРЯМ АВТОМОБІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СВИНЦЕВОГО АКУМУЛЯТОРА ПРИ  
ВАЖКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛЯ ШЛЯХОМ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ  
ПРОЦЕСОМ ЗАРЯДУ

2019

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	5
1.1 Пристрій свинцево - кислотного акумулятора .....	5
1.2 Аналіз умов експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів в автомобілях .....	6
1.3 Постановка задач досліджень .....	10
2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....	12
2.1 Імпульсний метод заряду .....	12
2.2 Методика проведення експерименту .....	12
2.3 Проектування стенду для проведення експерименту .....	14
2.4 Дослідження оптимальних параметрів імпульсного заряду .....	16
2.4 Розрахунок надійності роботи свинцево-кислотного акумулятора.....	18
3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	22
3.1 Розробка автоматизованої системи контролю і управління процесом заряду .....	22
3.2 Розробка друкованої плати .....	26
3.3 Розробка алгоритму головного мікроконтролера.....	29
ВИСНОВКИ .....	33
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАННЯ .....	34
ДОДАТОК А. Акт впровадження результатів досліджень .....	37

## ВСТУП

Основною областю застосування свинцево-кислотних акумуляторів вважається автомобільна промисловість

*Актуальність* даної теми викликана ненадійністю роботи свинцево-кислотного акумулятора в автомобілі. Ненадійність характеризується малим терміном експлуатації, який зазвичай навіть не перевищує гарантійного (2-3 роки), та низькою безвідмовністю роботи для розрахункового періоду експлуатації – до 3,7%.

*Об'єкт досліджень* – процес зарядки автомобільного акумулятора.

*Предмет досліджень* – система контролю і управління процесом заряду акумулятора.

*Мета досліджень* – збільшення строку експлуатації та безвідмовності роботи акумулятора при важких умовах експлуатації шляхом дослідження методики імпульсного заряду та розробки системи контролю і управління процесом заряду.

*Завдання досліджень.* Мета досліджень досягається шляхом виконання наступних завдань:

- проведення аналізу недоліків класичних методів зарядки;
- проведення аналізу імпульсного методу зарядки;

*Методи досліджень.* У теоретичних дослідженнях застосовані методи аналізу інформації, основи теорії автоматичного управління, математичного моделювання, теорії систем, теорії фільтрації сигналів, теорії графів і алгоритмів.

*Наукова новизна* полягає у тому, що у роботі вперше запропоновано використання такого імпульсного заряду, у якому амплітуда залежить від опору поляризації, а тривалість імпульсу обмежується моментом досягнення максимуму похідної напруги.

*Практична цінність* полягає в розробці системи контролю і управління процесом заряду, яка відрізняється від класичного регулятора напруги тим, що має мікропроцесорне управління, завдяки чому заряджатиме автомобільний акумулятор за запропонованим імпульсним алгоритмом, що дозволить збільшити термін експлуатації та безвідмовність роботи.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Пристрій свинцево - кислотного акумулятора

Свинцево-кислотний акумулятор - це хімічне перезаряджаєме джерело електроенергії, що складається з двох пластин, розділених електролітом [1]. При цьому одна пластина складається з двоокису свинцю (темно-коричневого кольору), і є позитивно зарядженою, а друга з губчатого свинцю (сірого кольору), і є негативною. Електроліт - це розчин сірчаної кислоти, з щільністю 1,23-1,4 г / см<sup>3</sup>. Щільність електроліту - це масова доля частки сірчаної кислоти в ньому. Вона безпосередньо залежить від ступеня заряду акумулятора, чим більше заряд акумулятора, тим вище щільність електроліту. Частина молекул кислоти у водному розчині завжди дисоційована на позитивно заряджені іони водню H<sup>+</sup> та негативно заряджені сульфатіони SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [2].

Основною областю застосування свинцево-кислотних акумуляторів вважається автомобільна промисловість [2].

Всі автомобільні акумулятори поділяються [3]:

- за потребою обслуговування;
- за будовою.

За потребою обслуговування існують:

- які обслуговуються;
- які не обслуговуються.

Акумуляторам, що обслуговуються періодично (кожні 12000км пробігу або раз в 6 місяців [2]) потрібно доливати дистильовану воду, тому що в процесі експлуатації відбувається сильний електроліз води, за рахунок якого вода розкладається на кисень і водень, створюється враження, що акумулятор кипить. Причина - високий вміст сурми в свинцевих пластинах;

У акумуляторах, що не обслуговуються, кипіння практично не відбувається, кількість сурми менше 5%, конструкція повністю герметична, і, відповідно, немає необхідності доливати дистильовану воду (сучасні акумулятори практично всі не обслуговуються).

За будовою акумулятори бувають:

- кислотний;
- кальцієвий;
- GEL – гелевий акумулятор;

- AGM-акумулятор;
- EFB-акумулятор.

Як видно з рейтингів акумуляторів [4, 5], на даний момент найбільшу популярність складають акумулятори з рідким електролітом - звичайні "кислотні" і кальцієві - їх більше 80%, а такі акумулятори як GEL, AGM, EFB менш поширені всього по 3 - 8 %, тому що вартість таких акумуляторів перевищує номінальну вартість звичайних. Але EFB технологія зараз набирає популярність і незабаром дані показники зміняться.

## 1.2 Аналіз умов експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів в автомобілях

Акумулятор в автомобілі служить джерелом електроенергії бортовій мережі при вимкненому генераторі. Його основне завдання - забезпечити стартер струмами близько 200 - 400А для запуску автомобіля.

При запущеному генераторі відбувається заряд акумулятора напругою 13.6 - 14.7 В. Регулятор напруги забезпечує стабільність напруги генератора за рахунок керування обмоткою збудження. Акумулятор під час зарядки згладжує цю напругу від кидків напруги.

Основна проблема заряду зі стандартним регулятором - постійна напруга зарядки. Як відомо з [2], кінцева напруга зарядки свинцевого акумулятора залежить від температури [6, 7]. Насправді це обумовлено залежністю внутрішнього опору акумулятора від температури.

Повний внутрішній опір свинцево-кислотного акумулятора:

$$r = r_0 + r_n,$$

де  $r_0$  - омичний опір електродів, електроліту, сепараторів, допоміжних струмоведучих деталей (мости, борни, перемички);

$r_n$  - опір поляризації, який з'являється внаслідок змін електродних потенціалів при проходженні електричного струму [2].

Опір активних матеріалів залежить від ступеня зарядженості, а опір електроліту, як від ступеня зарядженості (рисунок 1.1), так і від температури (рисунок 1.2).

Опір поляризації залежить від сили розрядного (зарядного) струму і температури і не підкоряється закону Ома. Залежність опору поляризації від сили струму розряду при різних температурах представлена на рисунку 1.3:

- графік 1 – при +30 ° С;
- 2–при0°С;
- 3–при-10°С;
- 4–при-20°С;
- 5–при-30°С;
- 6–при-40°С.

Опір поляризації може бути обчислено:

$$r_{\text{п}} = \psi / I,$$

де  $\psi$  - поляризація, викликана труднощами протікання електродного процесу на акумуляторних електродах, В;

$I$  - величина розрядного (зарядного) струму акумулятора, А [2].

Зазвичай, для нових обслуговуються акумуляторів ємністю 55 - 60 Ач складає одиниці мОм [1].

Для вирішення цієї проблеми існують регулятори напруги з функцією перемикання режимів (бувають регулятори на два і три режими) і регулятори напруги з контролем температури і плавним регулюванням напруги [8]. До першого типу відносяться регулятори 2702.3702, РР-132А, 1902.3702 і 131.3702. Напруги, підтримувані такими регуляторами стандартні, користувач в залежності від температури сам налаштовує потрібну напругу:

- в положенні перемикача «мін»: 13,6;
- в положенні перемикача «ср»: 14,2;
- в положенні перемикача «макс»: 14,7.

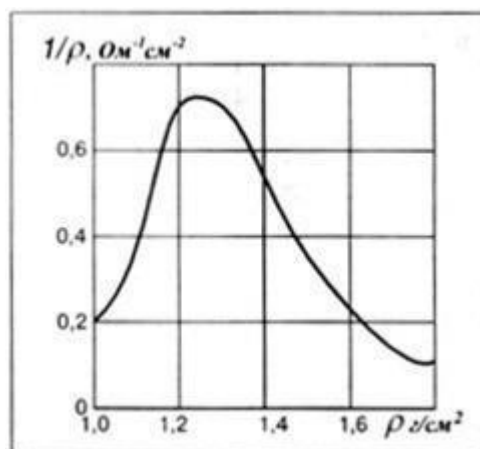


Рисунок 1.1 – Графік залежності питомої електропровідності електроліту від його щільності

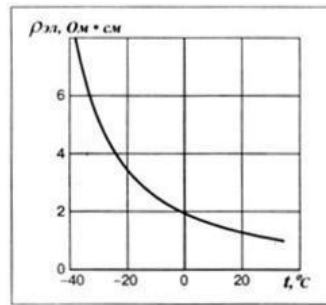


Рисунок 1.2 – Графік залежності питомого опору електроліту від температури

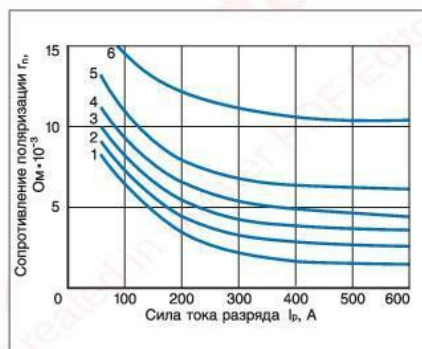


Рисунок 1.3 – Графік залежності опору поляризації батареї 6СТ-90ЕМ від сили струму розряду  $I_p$  при різних температурах [2]

Другий тип регуляторів розглядається на прикладі EE14V3 фірми BOSCH. Для автоматизації процесу зміни рівня підтримуваної напруги в даному регуляторі застосовується датчик, поміщений в електроліт акумуляторної батареї і включений в схему регулятора напруги. Але це доля тільки просунутих автомобілів [8]. У найпростішому ж випадку термокомпенсація в регуляторі підібрана таким чином, що в залежності від температури вступника в генератор охолоджуючого повітря напруга генераторної установки змінюється в заданих межах [8].

На рисунку 1.4 представлена температурна залежність напруги, підтримувана регулятором EE14V3 фірми Bosch в одному з робочих режимів.

На графіку зазначено також поле допуску на величину цієї напруги [8]. Падаючий характер залежності забезпечує кращий заряд акумуляторної батареї (в порівнянні зі звичайними регуляторами без термокомпенсації) при мінусовій температурі і запобігає посилене википання її електроліту при високій температурі

[9]. З цієї ж причини на автомобілях, призначених спеціально для експлуатації в тропіках, встановлюють регулятори напруги зі свідомо низькою напругою настройки, ніж для помірною і холодного клімату [8].

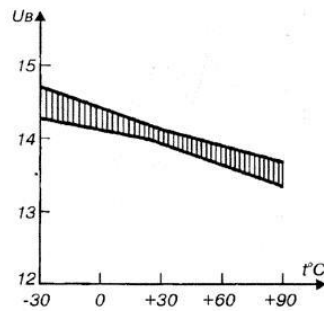


Рисунок 1.4 - Температурна залежність напруги, підтримуваної регулятором EE14V3 фірми Bosch

Проблема попередніх технічних рішень полягає в тому, що напруга генератора залишається постійною під час всього циклу заряду. У цьому випадку струм заряду залежить від різниці напруги бортової мережі і власної ЕРС акумулятора.

Тому зарядний струм обмежується лише внутрішнім опором акумулятора. При розрядженому акумуляторі струм досягає величини 20 - 50А, що згубно впливає на намазку і пластини акумулятора [8].

### 1.3 Постановка завдань досліджень

Головна мета роботи – підвищення надійності свинцево-кислотного акумулятору в важких умовах експлуатації, тобто підвищення терміну служби, безвідмовності роботи. Дана мета досягається шляхом виконання наступних завдань:

- провести аналіз недоліків класичних методів зарядки;
- провести аналіз імпульсного методу зарядки;
- створення стенду для дослідження імпульсного зарядки;
- дослідження імпульсного заряду в функції струму;
- розробка алгоритму зарядки на основі отриманих даних;
- розробка автоматизованої системи контролю заряду, яка дозволить вести автоматичну зарядку батареї в функції струму за запропонованим алгоритмом;
- за допомогою розробленої системи збільшити експлуатаційні характеристики акумулятору за рахунок контролю недозарядження при мінусових температурах і недопущення перезарядження при підвищених температурах.



## 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Імпульсний метод заряду

Зарубіжні дослідники [9,10,11] вказують на кращі результати заряду імпульсною напругою із змінною тривалістю імпульсу. Автори досліджень [12,13,14,15,16,17,18,19] стверджують, що таким чином досягається зниження внутрішнього опору, продовження терміну експлуатації та відновлення ємності акумуляторів, зниженою в результаті систематичного недозаряду.

Відзначаючи позитивні якості «імпульсних» методів заряду, дослідники, проте, дотепер не привели закінчене теоретичне обґрунтування спостережуваних ефектів. Спираючись на математичну модель кислотного акумулятора [13], можна припустити, що оптимальні параметри імпульсів зарядки визначаються миттєвою кількістю доступного електроліту і об'ємними характеристиками (площею пір) зони намазки пластини. Спрощено кажучи, необхідна сила струму імпульсу заряду визначається сукупною площею всіх пір намазки акумулятора, а необхідна тривалість імпульсу - кількістю доступного для реакції електроліту.

### 2.2 Методика проведення експерименту

Для проведення експерименту слід створити певні умови оточуючого середовища, такі як:

- температура довкілля 25 °С;
- вологість довкілля 50%;
- одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 кв. м, а об'єм не менше ніж 20,0 куб. м.

Визначимо похибку вимірювань для приладу комбінованого Ц4342-М1 в режимі виміру постійної напруги та струму, складає 2,5% [20];

Для аналогового осцилографу С1-114 складає 1% [21].

Визначимо похибку виміру АЦП мікроконтролера STM32F030F4P6. З технічної документації [22] визначаємо, що похибка складає 4LSB. Похибка виміру напруги з використанням дільника напруги складе:

$$\varepsilon = k \frac{U_{\text{жив}} \cdot 2^4}{2^{12}},$$

де  $k$  – коефіцієнт дільника  $k = 6$ ;

$U_{\text{жив}}$  – напруга живлення мікроконтролера,  $U_{\text{жив}} = 3,3 \text{ В}$ ;

$2^4$  – розрядність похибки;

$2^{12}$  – розрядність АЦП.

Для даного випадку:

$$\varepsilon = 6 * \frac{3,3 * 16}{4096} = 0,077 \text{ В.}$$

Метою експерименту є дослідження і розробка автоматичного стенду для знаходження параметрів імпульсних струмів заряду, тому потрібно, таким чином, рішення двох основних питань:

- 1 Розробка методики визначення величини імпульсного струму;
- 2 Розробка методики визначення необхідної тривалості імпульсу заряду.

Даний експеримент присвячений вирішенню цих двох питань шляхом практичного дослідження на прикладі герметичного свинцево-кислотного акумулятора DELTA DT 6015, напругою 6 В і паспортної ємністю 1500 мАг. Причина застосування даного акумулятора - його низька собівартість, тому що в разі невірних проведених експериментів він може вийти з ладу. Але отримані дані можна порівняти зі свинцево-кислотними акумуляторами більшої ємності, які застосовуються в автомобілях. Схема експерименту наведена на рисунку 2.1

Ход експерименту:

- 1 Розробка стенду.
- 2 Розробка алгоритму і програми мікроконтролера стенду.
- 3 Дослідження оптимальних параметрів імпульсного заряду.
- 4 Розробка алгоритму визначення величини і тривалості імпульсного струму.
- 5 Розробка рекомендацій щодо використання розробленого алгоритму.

### 2.3 Проектування стенду для проведення експерименту

В рамках дослідницької роботи була запропонована і реалізована дослідна установка, структурна схема якої представлена на рисунку 2.2.

Мікроконтролер STM32F030F4P6 за допомогою керованого джерела струму формує імпульси зарядного струму необхідної величини і тривалості. Датчики

струму і напруги контролюють фактичні значення напруги і струму зарядних імпульсів, за допомогою вбудованого в мікроконтролер 12-розрядного АЦП аналогові сигнали з виходів датчиків перетворюються в цифрову форму. Оцифровані значення параметрів імпульсу зберігаються через інтерфейс RS232 на персональній ЕОМ за допомогою програми Realterm в текстовому вигляді. Блок-схема алгоритму роботи стенда наведена на рисунку 2.3.

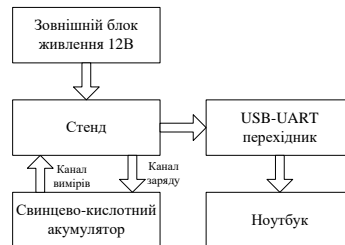


Рисунок 2.1 – Схема експерименту



Рисунок 2.2 – Структура дослідного стенду



Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму програми мікроконтролера

## 2.4 Дослідження оптимальних параметрів імпульсного заряду

Для визначення необхідної величини зарядного струму проведена серія дослідів, які полягали в формуванні зарядного імпульсу тривалістю 5 секунд. Було висловлено припущення, що при малій тривалості імпульсу заряду можливо допустити багаторазове збільшення струму. Проведені досліди, в яких амплітуда імпульсів струму приймала значення в діапазоні від 0.2С до 1С. На рисунку 2.4 представлені графіки напруги на акумуляторі протягом зарядного імпульсу при різних значеннях струму заряду.

Аналіз отриманих графіків дозволяє зробити висновок про необхідні значенні тривалості імпульсу для цього значення струму заряду. Ділянка графіка, на якій відбувається зростання першої похідної від напруги, відповідає періоду часу, коли імовірно здійснюється найповніша електрохімічна взаємодія. На рисунку 2.5 представлений приклад чисельного диференціювання графіків напруги імпульсів заряду. Максимуми функцій на графіку рисунка 2.5 відзначені точками на рисунку 2.4.

У міру збільшення локальної концентрації кислоти на поверхні пір намазки швидкість реакції зменшується. Експериментально встановлено, що, при тривалості імпульсу, коли графік похідної заряду проходить вище точок максимуму функцій на графіку 2.5, електроліт акумулятора починає «кипіти». Більш того, горизонтальну ділянку імпульсу (на рисунку 2.4) відповідає зоні сильного газовиділення, коли струм витрачається в основному на процес електролізу води. Тому, досягнення точки максимуму функцій на графіку 2.5 прийняті в якості умови припинення зарядного імпульсу.

Виконувався пошук амплітуди імпульсного струму, яка забезпечить максимальну ефективність електрохімічного взаємодії. В якості критерію ефективності запропоновано використовувати синтетичний критерій - величину «зарядного опору»  $R_z$ . На підставі ряду експериментальних вимірювань була отримана залежності величини «зарядного опору» від струму заряду, зображена на рисунку 2.6.

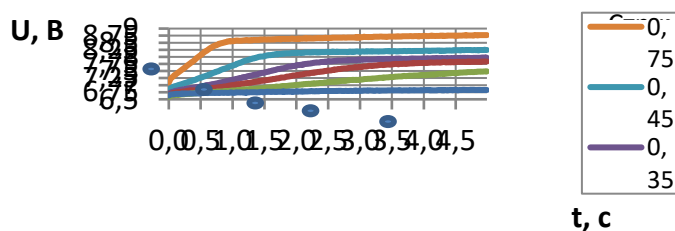


Рисунок 2.4 – Графіки напруг імпульсів заряду при різних значеннях струму

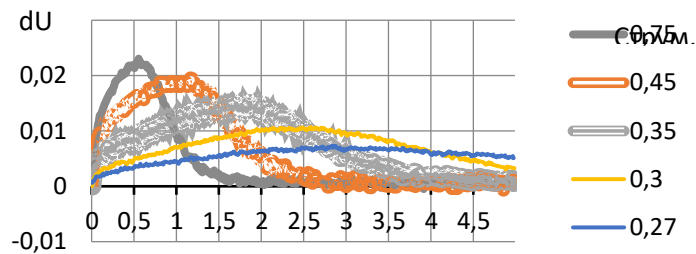


Рисунок 2.5 – Чисельне диференціювання на  $t, c$  імпульсів заряду

Аналіз залежності величини зарядного опору від струму заряду, показав, що при малих струмах характеристика зарядного опору має швидкий спад. Тому заряд на малих струмах не може бути ефективним. Однак, при струмі 0,5С зростання ефективності заряду знижується.

Рішення задачі автоматизованого визначення струму заряду досягається визначенням графіка залежності величини зарядного опору від струму заряду. Для цього мікроконтролер генерує серію коротких імпульсів струму різних амплітуд і виконує аналіз отриманого графіка залежності "зарядного опору" від струму.

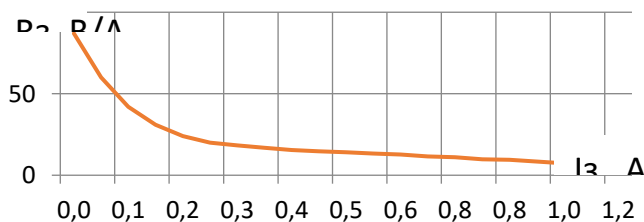


Рисунок 2.6 - Залежності величини «зарядного опору» від струму заряду

## 2.5 Розрахунок надійності роботи свинцево-кислотного акумулятора

Оцінимо надійність роботи акумулятора при класичному та розробленому способі заряду.

Під надійністю акумулятора розуміється його здатність зберігати свої параметри протягом строку служби [23]. Надійність характеризується такими параметрами як ймовірність безвідмовної роботи  $P$ , ймовірність відмови  $Q$ , середній час безвідмовної роботи  $m_t$ , інтенсивність відмов  $\gamma$ .

В автомобілі свинцево-кислотні акумулятори в процесі експлуатації багаторазово перезаряджаються. Ймовірність їх відмови залежить від якості попереднього заряду і втрати працездатності [23].

Вимоги до режиму роботи акумуляторних батарей задають виробники. Відповідно, при їх дотриманні, акумулятор прослужить заданий розрахунковий термін експлуатації або кількість циклів заряд-розряд.

Фактичний (розрахунковий) термін служби стартерних акумуляторних батарей при дотриманні норм обслуговування в умовах технічно справних виробів електрообладнання, як правило, має значно більшу тривалість в порівнянні з гарантійним терміном і може становити 5–8 років [2].

Проведемо дослідження параметрів надійності свинцево – кислотного акумулятора при стандартному режимі зарядки в автомобілі. З довідника [2] можна отримати інформацію, що, зазвичай, термін служби акумуляторної батареї визначається заводом-виробником і в умовах експлуатації автолюбителем становить 3-4 роки.

Навіть виробник високоякісних акумуляторів Bosh стверджує, що такий акумулятор відпрацює не більше 3-4 років [24].

Але, проводилися дослідження в рамках роботи [25], у якій розроблено методику дослідження надійності стартерних акумуляторних батарей для експлуатації в умовах жаркого сухого клімату, а також, отримано аналітичні дані щодо реального строку експлуатації свинцево-кислотних акумуляторів в автомобілях. Тому, спираючись на статистичні данні таблиці 2 наукової праці [25], приймаємо:

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{15,6+15,7+24,2+19,7+15,3}{5} = \frac{90,5}{5} = 18,1 \text{ місяців} = 1,5 \text{ років.}$$

Середній час безвідмовної роботи, в експерименті [25], відповідає 40000 км.

Час роботи акумулятору підпорядкований експериментальному закону розподілу, тому знайдемо інтенсивність відмов[26]:

$$\gamma = \frac{1}{m_t} = \frac{1}{1,5 \cdot 365} = 0,0018 \text{ 1/день.}$$

Обчислимо вірогідність безвідмовної роботи для всього розрахункового терміну експлуатації [26]  $t = 5 * 365 + 1 = 1826$ :

$$p(1826) = e^{-0,0018 \cdot 1826} = e^{-3,2868} = 0,037.$$

Обчислимо вірогідність відмови  $q(1826)$ :

$$q(1826) = 1 - p(1826) = 0,963$$

Таким чином акумулятор відпрацює розрахунковий строк служби без відмов з вірогідністю – 3,7%.

Але, якщо під час зарядки акумулятор підтримувати в рекомендованих розробниками умовах [2], то термін експлуатації можливо збільшити. Графік, представлений на рисунку 2.7 [25], доводить, що можливо збільшити ресурс акумуляторної батареї до 50%, якщо дотримуватись діапазону напруг, представленого на рисунку 2.8 [25]. Також, ряд дослідників, наприклад [9,10,11], вказують на кращі результати заряду імпульсною напругою зі змінною тривалістю імпульсу. Таким чином, якщо заряджати автомобільний акумулятор імпульсами в функції струму, дотримуючись діапазону напруг, представленому на рисунку 2.8 [25], то вдасться збільшити термін експлуатації до розрахункового, тобто 5 років [2].

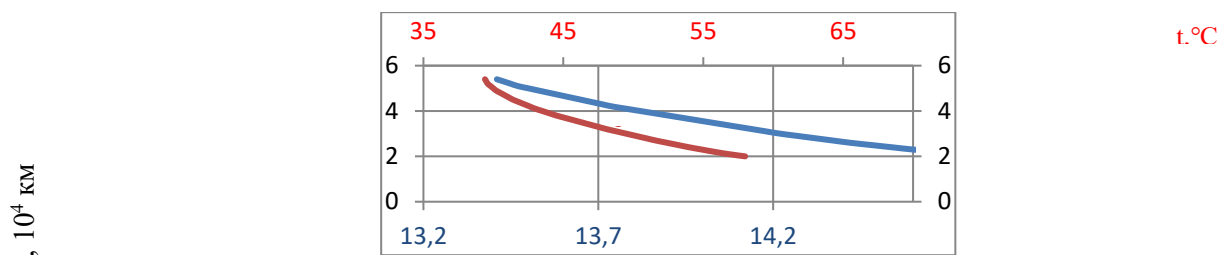


Рисунок 2.7 – Зміна напрацювання на відмову акумуляторних батарей від тчини регульованої напруги та температури електроліту (1 - регульована руга, 2 - температура електроліту) [25]

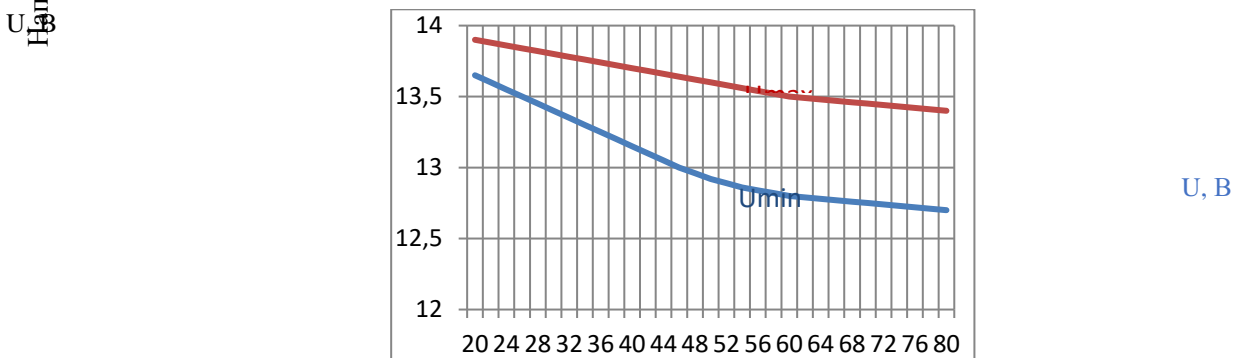


Рисунок 2.8 - Рекомендовані максимальні і мінімальні межі регульованої напруги для автомобілів [25]

Розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови, інтенсивність відмов  $\gamma$  для випадку використання імпульсного заряду:

$$\gamma = \frac{1}{m_t} = \frac{1}{5 \cdot 365} = 0,00055 \text{ 1/день.}$$
$$p(1826) = e^{-0,00055 \cdot 1826} = e^{-1,043} = 0,352.$$
$$q(1826) = 1 - p(1826) = 0,648.$$

Таким чином, досліджені параметри надійності вказують на можливість підвищення середнього терміну експлуатації, завдяки використанню імпульсного заряду, в середньому на 3,5 роки та вірогідності безвідмовної роботи протягом 5 років на 31,5%, .

## КТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка автоматизованої системи контролю і управління процесом заряду

Для підвищення надійності роботи свинцевого акумулятора в автомобілі розробляється пристрій – автоматизована система контролю і управління процесом заряду. Можливі дві її реалізації в залежності від способу підключення: з розривом та без ланцюга генератор – АКБ.

У першому випадку пристрій представляє собою контролер з можливістю повністю відключати навантаження від акумулятора. Схема його підключення наведена на рисунку 3.1.

У другому випадку – це автоматичний регулятор, аналог класичного. Тому схема підключення збігається зі схемою підключення класичного регулятора, за винятком резистивного шунта, необхідного для вимірювання значень струмів. Схема підключень наведена на рисунку 3.2.

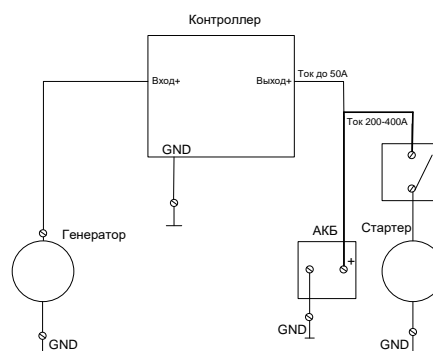




Рисунок 3.1 – Схема підключення контролера

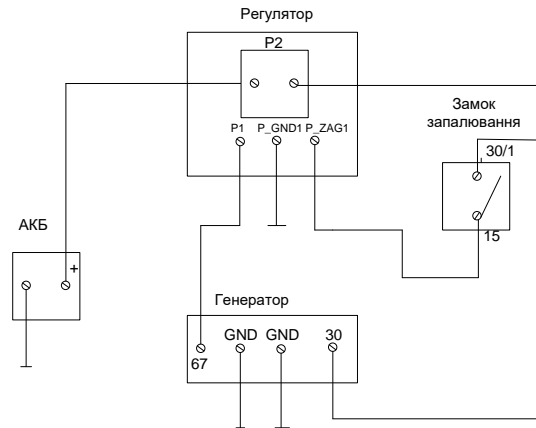


Рисунок 3.2 – Схема підключення автоматичного регулятора до системи генератора автомобіля

В ході експерименту було з'ясовано, що використання першої системи – контролера неможливо в автомобілі, бо розривається ланцюг генератор – АКБ, що веде за собою сплески напруги бортової мережі. Це недопустимо тому що пристрої бортової мережі можуть вийти з ладу.

Тому розробляється інший пристрій – струмовий регулятор, який буде застосовуватися замість стандартного регулятора напруги.

Він дозволить заряджати акумулятор імпульсами в функції струму і контролювати ступінь зарядки акумулятора, не допускаючи перезарядження.

Структурна схема, яка пояснює принцип роботи регулятора, представлена на рисунку 3.3.

Мікроконтролер STM32F030F4P6 управляє обмоткою збудження генератора за допомогою драйвера. При зміні керуючої напруги на обмотці збудження змінюється напруга на обмотці статора, що тягне за собою збільшення струму заряду акумулятора. Це значення фіксує датчик струму, який передає дані на мікроконтролер. Таким чином, відбувається регулювання зарядного струму. При відключенні драйвера струм генератора стане рівним нулю - акумулятор почне розряджатися в бортову мережу автомобіля. Далі мікроконтролер знову включить драйвер і почнеться зарядний імпульс. Таким чином, реалізуються імпульси зарядного і розрядного струмів необхідної величини і тривалості. Тривалість імпульсу передбачається більш 30-60 с, що дозволить мінімізувати помітність процесів управління зарядів.

Датчики напруги увімкнення запалення і акумулятора контролюють увімкнення двигуна та фактичні значення напруги зарядних імпульсів, за допомогою вбудованого в мікроконтролер 12-розрядного АЦП аналогові сигнали з виходів датчиків перетворюються в цифрову форму.

Оскільки більш ємні автомобільні акумулятори мають велику площу активної речовини електродів ніж застосовуваний в експерименті, відповідно, процес зростання напруги таких АКБ більш тривалий. З цієї причини тривалість зарядних імпульсів становитиме приблизно 40 - 60 с. Точне значення вирахає мікроконтролер. Плавна зміна напруги бортової мережі не вплине на роботу її споживачів.

У якості драйвера застосовані шім-мікросхеми XL6009 та LM2596 для двох варіантів схеми підключення обмотки збудження – з загальним +12 В, та загальною землею. Обидва варіанти схеми приведена на рисунку 3.4. Мікроконтролер керує мікросхемою завдяки зворотньому зв'язку.

Датчик струму – 2 мікросхеми ZXCT1009. Мікросхема являє собою односторонній струмовий монітор з напругою живлення 3-20В, тому використано 2 мікросхеми. Шунт розрахований так, що падіння напруги на ньому не перевищує 0,1 В при 10А навантаженні. Точність вимірювання струму +/- 10 мА, що є задовільним для автомобільної мережі. Також, в схему вбудовані пасивні ФНЧ другого порядку для більш точного вимірювання. Схема підключення датчика струму приведена на рисунку 3.5.

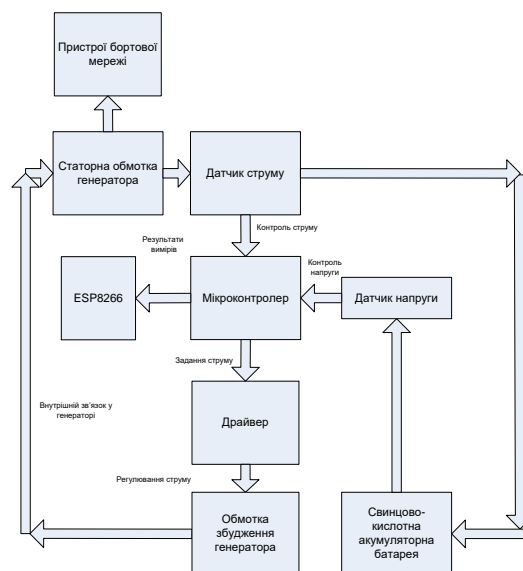


Рисунок 3.3 – Структурна схема імпульсного регулятора

У схемі регулятора передбачений wi-fi модуль ESP8266. Він забезпечує зв'язок модуля з мобільними пристроями по WEB-HTTP інтерфейсу, що підключаються по

wifi. Для зв'язку з основним мікроконтролером застосований інтерфейс UART. Схема підключення ESP8266 приведена на рисунку 3.6. Даний модуль повинен вмикатися за командою STM32F030F4P6 для економії електроенергії під час стоянки вимкненого автомобіля.

Схема підключення основного вузла - мікроконтролера наведена на рисунку 3.7. Він пов'язує всі модулі схеми воедино і управляє ними за заданим алгоритмом.

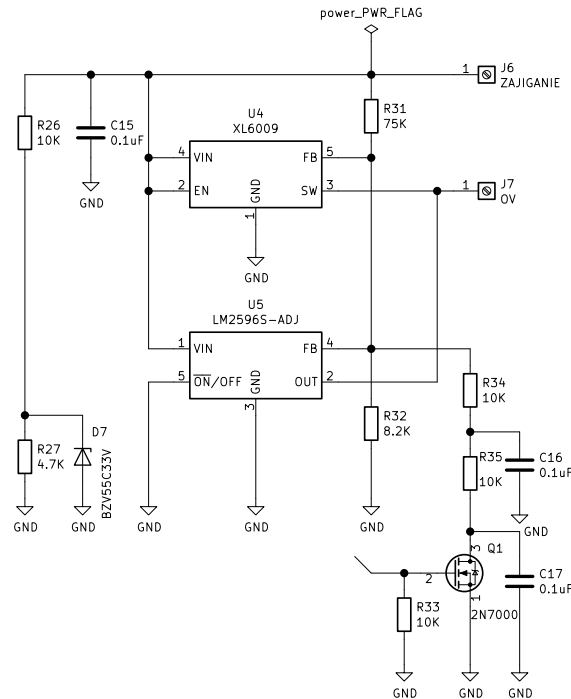


Рисунок 3.4 – Електрична схема драйверів XL6009 та LM2596

Для живлення модулів, які розраховані на напругу 3,3 В (серед них мікроконтролер, wi-fi модуль, мікросхеми датчика струму), застосований імпульсний dc-dc понижуючий перетворювач напруги 12В -> 3,3. На відміну від лінійного стабілізатора він має ККД до 90% і не гріється, що є величезним плюсом, тому що розігрів елементів спричинить за собою похибки у вимірюваннях струмів і напруг, що призведе до неправильного розрахунку параметрів зарядних імпульсів.

### 3.2 Розробка друкованої плати

Плата регулятора (двостороння) розроблена в програмному комплексі KiCad і приведена на рисунку 3.8.

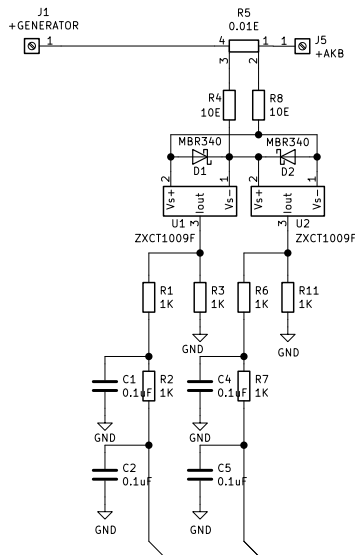


Рисунок 3.5 – Схема датчику струму на двох мікросхемах ZXCT1009

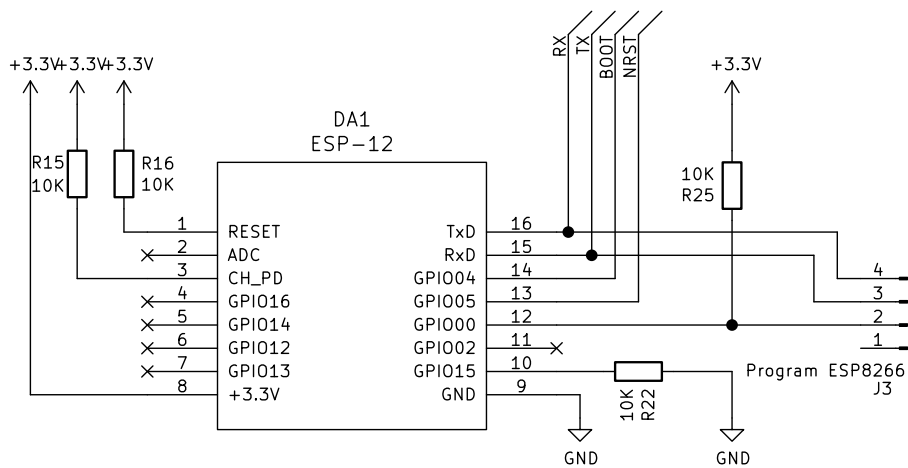


Рисунок 3.6 – Схема підключення Wi-Fi модуля ESP8266

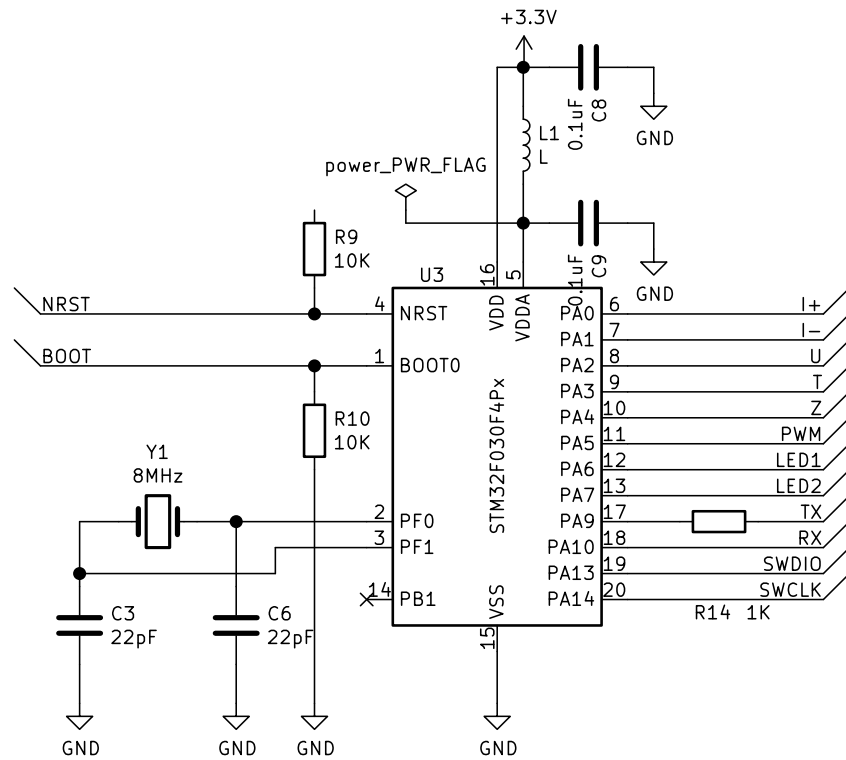


Рисунок 3.7 – Схема підключення основного модуля - мікроконтролера STM32F030F4P6

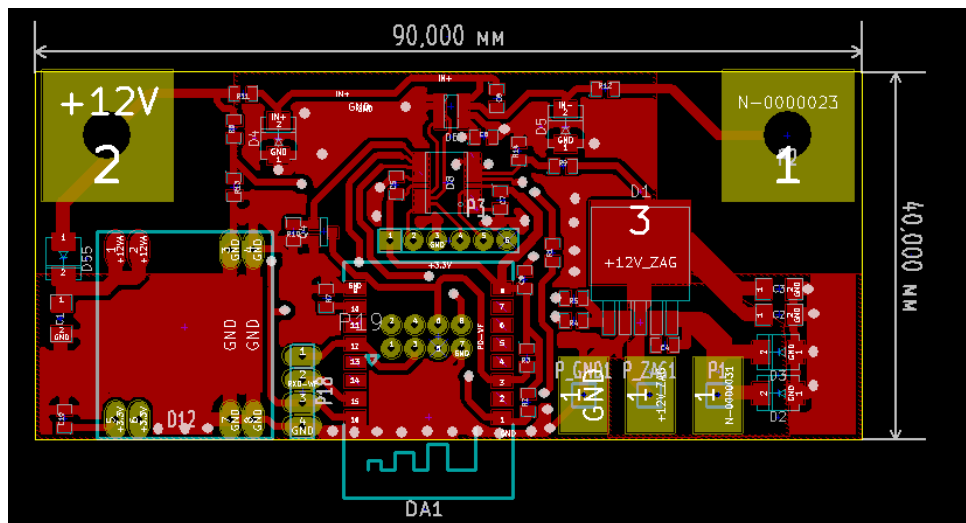


Рисунок 3.8 – Зовнішній вид плати системи контролю заряду в KiCad

### 3.3 Розробка алгоритму головного мікроконтролера

Принцип роботи пристрою: при повороті ключа в замку запалювання ініціюється включення генератора, мікроконтролер це фіксує появою напруги на контактах замку. Далі встановлюється тестова напруга бортової мережі 13В і очікується її поява протягом 5с. Якщо напруга встановилася – двигун заведений, програма переходить на наступний етап. Контролер плавно збільшує коефіцієнт заповнення ШІМ і контролює силу струму. Якщо вона почала збільшуватися – двигун заведений, програма переходить на наступний етап.

Наступний етап - включення режиму заряду. Він полягає в зарядці акумулятора імпульсами великої тривалості, приблизно 45-60 с. Це значення декілька більше ніж в дослідженому алгоритмі, тому що автомобіль – це досить складна система, всі споживачі якої увімкнені до однієї бортової мережі. Тому імпульси малої тривалості будуть негативно позначатися на роботі цих споживачів.

Після 60с зарядного імпульсу встановлюється і підтримується струм 0А. Очікується 30с для деіонізації акумулятору, після чого виконується вимір ЕРС. Якщо ця ЕРС не змінюється впродовж більш ніж двох таких циклів (тобто 3-5 хвилин), то заряд припиняється і система утримує струм 0А. І так до моменту наступного пуску, або поки акумулятор не розрядиться до величини 90% заряду, тобто 12,8В.

Одночасно з основним потоком - зарядкою, працює ще один потік в програмі мікроконтролера. Він запускає модуль Wi-Fi коли ключ в замку запалювання повернут. Wi-Fi модуль чекає вхідних підключень. Якщо є підключений пристрій, і він запитує дані (в браузері користувач відкрив сторінку і зробив запит на отримання даних) ESP8266 відсилає цей запит основному мікроконтролеру по UART інтерфейсу. Контролер STM32F030F4P6 приймає запит, обробляє його і посилає назад відповідь. ESP8266 відсилає відповідь по HTTP і користувач в браузері вже бачить нову сторінку з даними акумулятора: поточною напругою, та струмом акумулятора. Також на сторінці наводиться графік поточного зарядного циклу.

Програма для мікроконтролера ESP8266 написана у середовищі програмування – Arduino IDE. Код ініціалізації http – серверу, Wi-Fi точки доступу та UART приведений на рисунку 4.39.

Html сторінка передає дані на контролер завдяки AJAX технології. Тому система працює без перезавантаження сторінки. Це дозволяє будувати онлайн графіки напруги і струму, зарядного опору, та моментово передавати данні в обидві сторони.

Алгоритм роботи головного мікроконтролера представлений на рисунках 3.9 та 3.10.

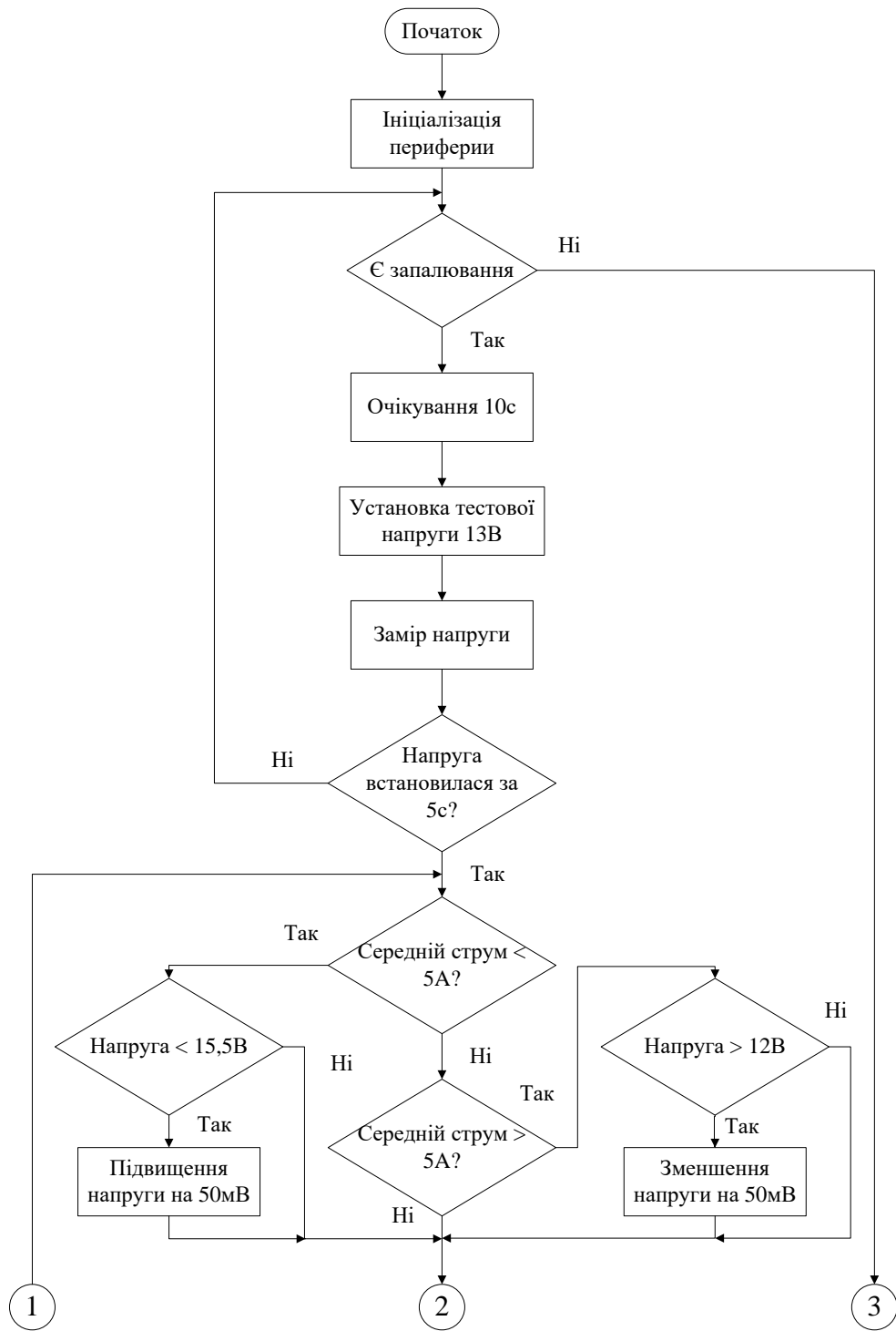


Рисунок 3.9 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера. Частина 1

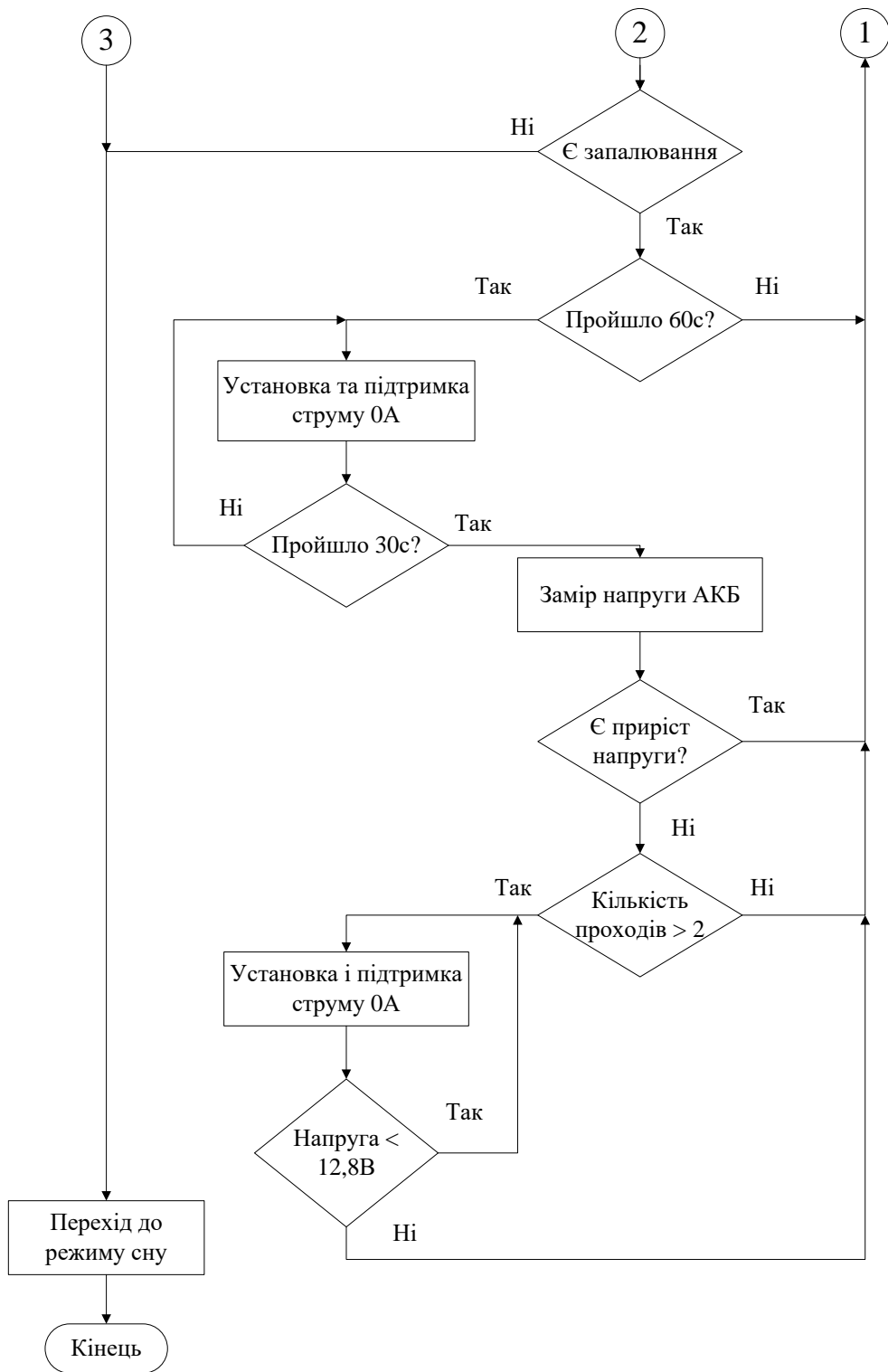


Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера. Частина 2



## ВИСНОВКИ

У даній роботі був проведений аналіз існуючих методів зарядки, який показав, що класичний метод зарядкою постійною напругою непридатний для зарядки в автомобілі, бо існує залежність внутрішнього опору акумулятора від температури.

Тому проводився експеримент на пошук оптимальних параметрів імпульсного заряду, в ході якого встановлено, що при малій тривалості імпульсу заряду можливо допускати багаторазове збільшення струму заряду, але оптимальний струм з точки зору опору поляризації знаходиться в діапазоні 0,2-0,4С. Критерій оптимальності тривалості імпульсу – максимальна швидкість заряду. Встановлено необхідне значення тривалості імпульсу заряду для кожного значення струму заряду, яке дорівнює тривалості від початку росту напруги до збільшення її першої похідної до максимуму. Цей час відповідає найповнішій електрохімічній взаємодії.

В якості критерію повноти заряду запропоновано використовувати плаваючий рівень напруги.

Дана робота дозволила застосувати новий імпульсний спосіб заряду всередині автомобіля - в автоматизованій системі контролю і управління процесом заряду, що дозволить підвищити строк служби до 3,5 років та поліпшити експлуатаційні показники акумулятора узимку до 31,5%, тобто підвищити надійність за рахунок повного заряду без перезарядження.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Таганова А. А. Герметичные химические источники тока: Элементы и аккумуляторы. / А. А. Таганова, Ю. И. Бубнов, С. Б. Орлов. // Оборудование для испытаний и эксплуатации: Справочник — СПб.: ХИМИЗДАТ, 2005.—

264 с.

2 Курзуков М. И. Аккумуляторные батареи: Краткий справочник. / М. И. Курзуков, В. М. Ягнятинский. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2008. — 88 с.

3 Виды современных аккумуляторов для автомобилей и перспективы развития. Режим доступа: <http://akbinfo.ru/ustrojstvo/vidyakkumulyatorov-dlya-avtomobilej.html>

4 РЕЙТИНГ АВТОМОБИЛЬНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ НА РЫНКЕ УКРАИНЫ. Режим доступа: <https://avtoblog.ua/news/rejting-avtomobilnyh-akkumuljatornyh-batarej-na-rynkeukrainy>

5 Топ-5 популярных аккумуляторов различной емкости. Режим доступа: [https://media.price.ua/reitingi/top5\\_populjarnykh\\_akkumuljatorov\\_razlichnoj\\_emkosti.html](https://media.price.ua/reitingi/top5_populjarnykh_akkumuljatorov_razlichnoj_emkosti.html)

6 Таблица зависимости заряженности аккумулятора от температуры и плотности электролита. Режим доступа: <https://batteryservice.ru/support/soc/>

7 Внутреннее сопротивление аккумулятора. Что такое внутреннее сопротивление аккумулятора? Режим доступа: <http://at-systems.ru/quest/newquest/battery-resistance-y.shtml>

8 Современные регуляторы напряжения. Режим доступа: [http://www.autoscience.ru/blog/sovremennye\\_reguljatory\\_naprjazhenija/2013-05-06-10](http://www.autoscience.ru/blog/sovremennye_reguljatory_naprjazhenija/2013-05-06-10)

9 Lam L.T. et al. 'Pulsed-current charging of lead/acid batteries-a possible means for overcoming premature capacity loss?,' CSIRO, Australia, Journal of Power Sources 53, 1995

10 Hund Tom 'Battery Testing for Photovoltaic Applications,' Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, presented at 14th NREL Program Review, Nov. 1996.

11 Pei-Hsuan Cbeng Chern-Lin Chen 'A High-Efficiency Fast Charger For Lead-Acid Batteries', 2002

12 Wuttibhat J. 'Desulfation of Lead-Acid Battery by High Frequency Pulse', 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

13 Ziyad M. S. 'A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries', IEEE Transactions on Energy Conversion / M. S. Ziyad, A. C. Margaret, A. L. William, Vol. 7, No.1, March 1992

14 Krivik P. Changes of temperature during pulse charging of lead acid battery cell in a flooded state. / P. Krivik, P. Vanysek. – JOURNAL OF ENERGY STORAGE, Том: 14 Стр.: 364-371 Часть: 3 Специальный выпуск: SI, 2017.

15 Al Zyoud A. Cycle recovery charging (CRC) methods for single used lead-acid batteries. / A. Zyoud, A. Harb – ELECTRICAL ENGINEERING, Том: 99 Выпуск: 3 Стр.: 1099-1108, 2017.

16 Borger A. On the use of Raman microscopy for sulfation analysis in lead-acid battery research. / A. Borger, E. Ebner, E. Ruhl, R. Flesch, D. Burow – JOURNAL OF ENERGY STORAGE, Том: 12 Стр.: 305-310, 2017.

17 Laadissi E. Impact of Pulse Voltage as Desulfator to Improve Automotive Lead Acid Battery Capacity. / E. Laadissi, A. Filali, M. Zazi –  
21 INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED COMPUTER SCIENCE AND APPLICATIONS, Том: 8 Выпуск: 7 Стр.: 522-526, 2017.

18 Дувинг В. Г. Патент РФ RU2180460, 01.05.2000. Способ заряда свинцового аккумулятора. // Патент России № 2180460. 2000./ В. Г. Дувинг.

19 Каменев Ю. Б. УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ЗАРЯДА СВИНЦОВОКИСЛОТНОГО АККУМУЛЯТОРА. 3. ИМПУЛЬСНЫЙ ЗАРЯД. / Ю. Б. Каменев, Г. А. Штомпель. – СПб.: Научно-технический центр ЗАО «Электротяга», 2013. – с. 77-82.

20 Прибор комбинированный Ц4342 – Паспорт. Житомир, облполиграфиздат, 1982.

21 ОСЦИЛЛОГРАФ УНИВЕРСАЛЬНЫЙ С1-114/1 – Формуляр, 1989.


22 Технічна документація мікроконтролера STM32F030F4P6. Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f030f4.pdf>

23 Основы расчета, конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов. – Л.: Энергия, 1978. 152 с, ил.

24 Офіційний сайт Bosch. Некоторые советы, чтобы продлить жизнь аккумуляторной батареи. Режим доступу: <http://bosch-akkumulyator.com.ua/2012-06-06-11-52-56/81-nekotorie-soveti,-chtobi-prodlit-jizn-akkumulyatornoi-batarei.html>

25 Аль-Хмуд Абдалла Повышение срока службы стартерных аккумуляторных батарей при эксплуатации в жарких сухих климатических условиях [на примере Иордании]. – Автореферат, Москва 1999. – 20с.

26 Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Основи теорії керування якістю технологічних систем» для студентів технічних спеціальностей  
\_\_\_\_\_ Укл. Г.П.Клименко. – Краматорськ : ДДМА.–2016–98.

  
Научно-производственное коллективное предприятие  
**ИНТРИС**

Краматорск,  
ул. 19-го Партсъезда 48-А  
код ОКПО 13514924  
р/с 26007060745418  
в ПАО Приватбанк г.Краматорск  
МФО 335548  
налоговый номер 135149205157  
номер свидетельства 06289295  
тел/факс (0626)41-43-72  
тел. 41-42-84

---

**АКТ**

внедрения результатов исследований Донченко Евгения Ивановича и Решетняка Сергея Романовича, проведенных в рамках госбюджетной НИР «Удосконалення енергозберігаючих методів та засобів автоматизації технологічних систем машинобудування та металургії».

В рамках госбюджетной НИР был разработан модуль заряда свинцовых аккумуляторов.


Основой модуля заряда выступает 32-х разрядный микроконтроллер STM32F030F4P6, выполняющий функции опроса состояния датчиков, формирования импульсных последовательностей и математической обработки полученной информации с дальнейшей коррекцией режимов заряда.

Микроконтроллер STM32F030F4P6 при помощи управляемого источника тока формирует импульсы зарядного тока требуемой величины и длительности. Датчики тока и напряжения контролируют фактические значения напряжения и тока зарядных импульсов, при помощи встроенного в микроконтроллер 12-разрядного АЦП аналоговые сигналы с выходов датчиков преобразуются в цифровую форму. Оцифрованные значения параметров импульса сохраняются через интерфейс RS232 на персональной ЭВМ при помощи программы Realterm в тестовом виде и могут быть применены для анализа состояния и прогресса восстановления аккумуляторной батареи.

Конструктивно модуль заряда представляет собой печатную плату, размещенную в прямоугольном пластиковом корпусе (приложение А).

Внедрение модуля контроля датчиков высева существенно облегчает диагностику и восстановление аккумуляторных батарей, ввиду чего предполагает получение годового экономического эффекта в размере 5000грн.

Утверждаю:  
15.01.2018

  
директор, к.т.н. Савченко О.К.-