МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА НА ТЕМУ:

«Багатофункціональна система зарядки акумуляторних батарей електрокарів»

Завідуючий кафедрою **Опанасюк А. С.**

Керівник кваліфікаційної работи **Новгородцев А. І.**

Консультант з економічної частини **Маценко О. М.**

Виконав студент гр. ЕСмдн –01п **Тур В. І.**

Суми 2021 р.

Сумський державний університет

Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки»

Спеціальність 171 «Електроніка»

Освітня програма „Електронні системи та компоненти"

Затверджую:

Зав. кафедрою ЕКТ

Опанасюк А. С.

„____"____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Тур Вадиму Ігоровичу

Тема роботи: **«Багатофункціональна система зарядки акумуляторних батарей електрокарів»**

Затверджена наказом по університету від „___" _____ 2021 р. № _____
Термін виконання роботи: 15 .12. 2021 р.

Початкові дані до роботи:

- напруга живлення пристрою - 12 В;
- максимальна постійна напруга зарядки АКБ - 16 В;
- максимальний струм зарядки АКБ -250 А;
- наявність блоку установки режимів роботи;
- автоматичний вибір джерела живлення;
- обмін МК та автомобіля через UAPT-CAN конвертор;
- контроль напруги та струму зарядки;
- керування ключами силового блоку сигналами ШІМ.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- огляд існуючих пристроїв за даним напрямком проектування;
- розробка алгоритму функціонування системи;
- розробка структурної схеми системи;
- розробка та розрахунок принципової схеми системи.

Перелік графічного матеріалу:

- креслення схеми алгоритму;
- креслення схеми електричної структурної;
- креслення схеми електричної принципової.

Консультанти з кваліфікаційної роботи

Розділи	Консультанти	Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко- економічна частина	Маценко О. М.		

Дата видачі завдання 20.09. 2021 р.

Керівник роботи _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Перелік етапів виконання роботи:	Термін виконання:
1.Огляд літератури та постановка задачі проектування	10.10. 2021 р.
2. Науково-дослідницька частина	20.10. 2021р.
3. Розробка алгоритму функціонування	25.10. 2021 р.
4. Розробка та обґрунтування структурної схеми	30.10. 2021 р.
5. Розробка та розрахунок принципової схеми	15.11. 2021 р.
6.Техніко-економічна частина	25.11. 2021 р.
7. Оформлення пояснювальної записки	30.11. 2021 р.
8. Оформлення креслення та слайдів	10.12. 2021 р.
9. Представлення роботи на рецензування	14.12. 2021 р.

Студент _____

Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 78 сторінок тексту, 37 малюнків, 16 таблиць, вступ і 5 розділів тексту.

Графічна частина роботи містить алгоритм, структурну і принципову схеми.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел по обраному напрямку проектування.

Другий розділ містить науково-дослідницьку частину роботи.

Третій розділ містить розробку алгоритму функціонування і структурної схеми пристрою.

Четвертий розділ присвячений розробці та розрахунку принципової схеми пристрою.

П’ятий розділ містить розрахунок собівартості виготовлення пристрою.

По результатам проектування, зроблені висновки.

Наведено 15 літературних джерел.

У додатку наведена програма для мікроконтролера та перелік елементів принципової схеми.

Ключові словосполучення: зарядні станції; бустер; драйвер; конвертор; акумулятор; електромобіль.

Key phrases: charging stations; voltage converter; the battery; electric car.

ЗМІСТ

Вступ …… 4

1 Огляд існуючих пристроїв за вибраним напрямом проектування …….. 7

1.1 Зарядні пристрої для електромобілів …… 7

1.2 Методи заряджання та типи ЗП для електромобілів …… 10

1.3 Стандарти зарядних станцій та роз'ємів …… 17

1.4 Приклади схем зарядних пристроїв ……... 18

2 Науково-дослідницька частина …… 20

2.1 Акумулятори в сучасних електромобілях …… 20

2.2 Термін служби літій-іонних акумуляторів …… 26

2.3 Зарядка АКБ електромобілів …… 29

2.4 Ємність акумуляторної батареї електромобіля …….. 32

3 Розробка алгоритму функціонування та структурної схеми пристрою ……. 37

3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою …… 37

3.2 Розробка структурної схеми пристрою …….. 40

4 Розробка та розрахунок принципової електричної схеми …….. 44

4.1 Вибір елементної бази …… 44

4.2 Розрахунок основних вузлів і блоків принципової схеми …….. 59

5 Техніко-економічна частина …… 63

5.1 Розрахунок повної собівартості пристрою ……... 63

5.2 Розрахунок ціни пристрою …… 67

Висновки ……..... 68

Література …… 69

Додатки

					ЦЗДВН 8.171.00.10. 798 ПЗ		
Изм.	*Лист*	*№ докум.*	*Подпись*	*Дата*			
Разраб.		Тур			Багатофункціональна система зарядки акумуляторних батарей електрокарів. Пояснювальна записка.	*Лит.*	*Лист* 3 / *Листов* 78
Проверил		Новгородцев					
Реценз.						СумДУ, гр. ЕСмдн-01п	
Н. Контр.		Гапич					
Утверд.		Опанасюк					

ВСТУП

Перший візок з електродвигунами і батареями на борту зміг подолати відстань у 100 метрів ще в 1841 році. А справжні електромобілі з'явилися на європейських дорогах лише наприкінці XIX століття. Тоді вони випереджали бензинових та парових конкурентів за всіма параметрами: швидкості, динаміки розгону, вантажопідйомності та запасу ходу.

Мінусом був лише складний процес заряджання батарей. Поки не винайшли випрямляч струму, доводилося з'єднувати електродвигун змінного струму і генератор постійного струму. Механізм витрачав багато енергії та часто ламався. Тим часом бензинові машини ставали дедалі досконалішими — мінуси електромобілів змусили надовго забути про цей вид транспорту.

До них повернулися на межі 1960-70-х років, коли вартість пального різко зросла, а великих містах гостро постала проблема вихлопів. Електромобілі випускалися невеликими серіями, але, як і раніше, залишалися диковинкою. У 1990-х випустили перші великі партії електротранспорту, який можна було взяти в лізинг або оренду в США. Наочно плюси електромобілів продемонструвала компанія Ілона Маска Tesla Motors. Її спорткар Roadster наближався до бензинових конкурентів з динаміки та запасу ходу.

У 2010-х випуск електрокарів почали багато автомобільних компаній: Mitsubishi, Nissan, Volkswagen, Toyota, Jaguar, Renault та інші. Завдяки масовому виробництву їхня ціна знизилася в 1,5–2 рази. Екологічно чистий транспорт уперше став доступним. Формально до електротранспорту належать і гібридні автомобілі. В них електромотор «допомагає» бензиновому чи дизельному двигуну, знизити витрата палива і зменшити викиди шкідливих речовин.

У класичному гібриді енергія накопичується при гальмуванні електромотор служить генератором. Модель, що підключаються (Plug-In), можна заряджати від мережі, збільшуючи запас ходу. У послідовних гібридах двигун внутрішнього згоряння крутить генератор, який заряджає батарею.

У цьому електромобілі двигун внутрішнього згоряння відсутній. Електромотор з'єднаний з батареєю, яка заряджається від мережі та при гальмуванні. Існують також електрокари на паливних елементах. У них енергія виробляється за рахунок хімічної реакції — у вихлопну трубу відправляється чиста водяна пара. Такі машини потрібно заправляти воднем - через складність процесу вони не набули широкого поширення.

Гібридні електромобілі – це справді універсальний, надійний, безпечний та екологічний вид транспорту. Навіть незважаючи на його високу ціну, він є досить економним, адже зарядити акумулятор обійдеться вам дешевше, ніж купити повний бак бензину.

Електрозаправки в Україні поступово починають розвиватись. Якщо раніше зарядити акумулятор було реальною проблемою, то зараз із цим практично не виникне труднощів. Звісно, у невеликих населених пунктах електрозаправок практично немає, але, у перспективах, уже за кілька років ситуація повністю виправитися та стабілізується.

Оренда електромобілів надається спеціалізованими компаніями. Після нетривалого використання такого дива техніки ви зможете особисто переконатись у його перевагах, подивитися на недоліки та вже потім зробити свій остаточний вибір.

Українська індустрія зарядних станцій для електромобілів активно розвивається. Вітчизняні виробники, такі як GreenFuel, Octa Energy, OnCharge, Elmiz, пропонують не лише модернізовані під українського споживача закордонні зарядні електростанції, а й конкурентоспроможні та дешевші аналоги власного виробництва. Крім того, активно будуються електричні автозаправні станції (АЗС). Зокрема, це мережі UGVchargers, СТРУМУ, GoTo-U та інші.

Щоб популяризувати електротранспорт у країні, потрібна, зокрема, розвинена інфраструктура зарядних станцій. EcoFactor Charge – підпроект одеської компанії, де розробляють нові зарядні пристрої для електромобілів.

Станом на 2019 рік команда проекту розробила та серійно випускає два типи зарядних станцій. Це мобільні станції, які можна використовувати як вдома, так і в дорозі, а також стаціонарні зарядні пристрої, які встановлюються поза приміщенням.

Починаючи з 2016 року, інженери EcoFactor розробили три покоління зарядних пристроїв зі змінним струмом. Станція першого покоління не мала підключення до інтернету та могла заряджати лише один електромобіль. Пристрій другого покоління теж мало доступу до Мережі, але до цієї станції за допомогою RFID-карти могли підключатися до 10 користувачів.

Третє покоління станцій дозволяє підключатися через RFID-картку, а також NFC-карту. Користувач може підключитися до сервера та дистанційно керувати процесом заряджання. Це найбільше відповідають запитам ринку станції, які EcoFactor серійно виробляє та продає.

Зарядні станції для електромобілів не є універсальними, вони відрізняються типами та стандартами використання. EcoFactor вперше в Україні розробляє швидкісну зарядну станцію CHAdeMO. EcoFactor Charge завершили передсерійні випробування пристрою, який здатний майже повністю зарядити популярний електромобіль Nissan Leaf за півгодини.

Оскільки акумулятори електромобілів заряджаються переважно вночі, їхнє масове використання може допомогти вирішити проблему «енергетичного піку». Це максимальне навантаження на енергосистему вранці та ввечері поряд з

мінімальним навантаженням уночі, тоді як більшість електростанцій виробляють енергію безперервно та рівномірно протягом доби.

Скільки часу заряджається електромобіль на зарядній станції? Цей процес багато в чому залежить від потужності зарядного пристрою, а також характеристик АКБ і триває від одного до чотирьох годин. При підключенні до побутової розетки повне відновлення заряду відбувається від 6 до 9 годин. На швидкість можуть впливати спосіб заряду, напруга, ємність батареї та сила струму.

1 ОБГЛЯД ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ЗА ВИБРАНИМ НАПРЯМОМ ПРОЕКТУВАННЯ

На кінець 2016 року в країні було близько 150 зарядних станцій, при цьому загальна кількість електромобілів на кінець 2016 року становить 1709 од. та 884 од. гібридних автомобілів. На кінець 2020 року в Україні було близько 23 тис. електромобілів. Половину їх складають уживані Nissan Leaf. Кількість електромобілів та зарядних станцій продовжує збільшуватися.

1.1 Зарядні пристрої для електромобілів

Електромобіль у наші дні перестав бути фантастикою і перетворився на реальний транспортний засіб, що став звичним. Такий вид автомобіля дуже економічний, адже його не потрібно заправляти дорогим бензином або дизельним паливом, які також забруднюють атмосферу. Однак батарею електромобіля необхідно заряджати, і саме про це йтиметься далі. Ми дізнаємося все про те, що таке зарядний пристрій електромобіля, які бувають його види, від чого залежить час заряджання та багато іншого.

Рисунок 1 – Один з видів зарядних станцій

Електромобіль має досить простий у порівнянні з машинами з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) пристрій. Це тим, що електромотор набагато простіше, ніж ДВС, і вимагає регулярного обслуговування. Оскільки електропривод практично немає тертьових частин (крім підшипників кочення на валу), його ККД досягає 90-95%. При цьому рівень ККД бензинового ДВЗ ледь сягає 35%, а дизельного – 45%.

Якщо ж говорити про електрокар в цілому, то він не має значних відмінностей від звичайних машин із ДВЗ. Здебільшого різниця – лише у двигуні. І оскільки електромотор працює на електриці, йому потрібна ємна та потужна

батарея замість бака для рідкого палива у звичайних авто. В іншому ж машини практично не мають суттєвих відмінностей. У електрокарі та сама система підвіски, кузов і так далі.

Багато електромобілів збудовано на базі бензинових машин. Це означає, що виробник просто встановлює електромотор та батарею у звичайний автомобіль замість ДВЗ. Звичайно, існує безліч інших тонкощів та незначних конструктивних відмінностей. Що таке зарядний пристрій електромобіля

Електромобіль має, по суті, таку саму батарею, як, наприклад, ноутбук чи мобільний телефон. Різниця тільки в об'ємі та потужності. Це означає, що для заряджання використовується такий же зарядний пристрій, як для будь-якого іншого гаджета. Різниця лише у потужності та силі зарядного струму. А також у тому, що зарядні пристрої (ЗП) для електрокарів мають великі розміри, тому в кишеню або рюкзак їх не покладеш. Також виробники електрокарів використовують свої унікальні роз'єми. Але про це ми поговоримо нижче.

Зарядний пристрій для електромобіля – це пристрій, який перетворює змінний струм високої напруги (220 вольт в однофазному ланцюгу або 380 вольт у трифазному) на постійний струм з напругою, що відповідає напруги батареї машини. Такі ЗП можуть бути різного типу:

• стаціонарні – настінні шафи, стійки тощо;

• портативні пристрої – можна возити із собою у багажнику електрокара.

Неважливо, як виглядає або якого типу заряджання, в будь-якому випадку це всього лише пристрій, який перетворює один вид електроенергії на інший, що відповідає технічним параметрам електрокара.

Автомобіль підключається до джерела живлення за допомогою звичайної побутової розетки або спеціального роз'єму (залежно від того, як ви заряджаєте свій автомобіль). З іншого боку, пристрій має відповідний роз'єм для підключення до електромобіля. Портативний зарядний пристрій наведений на рис. 2.

Рисунок 2 - Портативний зарядний пристрій

Стаціонарні пристрої підключаються в мережі електроживлення за допомогою однофазного або трифазного ланцюга. Тут важливо знати, що трифазний ланцюг дає більше потужності, а це означає, що збільшується і швидкість заряджання батареї. По суті це стаціонарна станція, яку можна встановити в гаражі. Такі ж станції встановлені на електрозаправних станціях і на стоянках для електрокарів.

Станція завжди підключена до електромережі. Для підключення до машини є відповідний шнур (електрокабель), на кінці якого знаходиться роз'єм для підключення до електромобіля (рис. 3).

Рисунок 3 – Стаціонарна станція зарядки

У самому електромобілі також є вбудоване обладнання, необхідне заряджання батареї. Якщо простежити ланцюг від роз'єму для підключення ЗП до батареї (всередині електромобіля), то найважливішим компонентом є контролер сили струму і рівня заряду батареї.

Контролер пропускає певну максимальну силу струму та автоматично відключає подачу електроенергії до батареї при досягненні 100% рівня заряду. Також контролер регулює рівень заряду між секціями батареї, щоб кожен елемент АКБ мав однаковий рівень заряду, не перегрівався, не закипав та не вийшов з ладу.

Швидкість заряджання АКБ. Швидкість заряджання будь-якої батареї, у тому числі електромобіля, залежить насамперед від сили струму. Що сила струму, то вища швидкість. Але тут важливо розуміти, що швидке заряджання значно скорочує термін служби батареї. Тому виробники намагаються знайти певний

баланс, створюючи такі ЗП, які завдають мінімальної шкоди АКБ і при цьому здатні заряджати батареї досить швидко.

Якщо говорити про звичайні батареї, то вони заряджаються струмом невеликої сили (у побутових умовах максимум 2-3 Ампери). І звичайної побутової розетки більш ніж достатньо для таких цілей.

Рисунок 4 – Зарядка від звичайної розетки

Але в електромобілях батарея досить велика та потужна. Тому для її заряджання потрібно більше потужності. Сила струму у разі може досягати 60-80 ампер (при зарядці від станції постійного струму сила струму досягає 250 Ампер). І такої сили струму звичайна побутова розетка не здатна видати. Тому швидкість заряджання від побутової розетки буде повільною.

Для повного заряду батареї від мережі 220 вольт може знадобитися до 24 годин. Але зазвичай більшість електрокарів заряджаються від побутової розетки близько 16 години. Щоб прискорити заряджання, потрібно підвищити напругу. А зробити це можна лише за допомогою трифазного ланцюга живлення. Але до цього питання ми повернемося нижче.

Існує максимальний показник сили струму. Якщо перевищити його, це може призвести не тільки до втрати ємності батареї, але і до повного виходу з ладу АКБ, а також до її вибуху

Також на швидкість впливає і ємність самої батареї. Відповідно, що більше ємність АКБ, то більше часу потрібно її заповнення.

1.2 Методи заряджання та типи ЗП для електромобілів

Як було зазначено вище, існують різні зарядки для електромобілів. Відмінності між ними полягають у портативності, а й у різних схемах харчування. А деякі зарядки взагалі працюють без дротів.

Отже, існують такі типи ЗП для електрокарів:

• від побутової розетки 220 вольт;

• від мережі з напругою 380 вольт.

• постійним струмом;

• бездротова;

• від бензогенератора;

• від сонячної батареї.

Може мати два типи: однофазний ланцюг; трифазний ланцюг.

Рисунок 5 – Зарядка від сонячних батарей

Останній варіант не найефективніший, тому зарядка від сонячної батареї використовується деякими виробниками електромобілів лише для незначного збільшення запасу ходу.

Справа в тому, що для ефективної зарядки АКБ електрокара сонячна панель повинна мати дуже великі розміри та значну вагу (навіть з урахуванням сучасних технологій). Але автомобіль має деякі обмеження за розмірами. І оскільки батареї зазвичай розміщують на даху авто, то таких розмірів достатньо лише для незначної підзарядки.

Звичайно, можливість повністю зарядити електромобіль за допомогою сонячної панелі є. Для цього вам потрібно залишити машину під прямим сонячним промінням на кілька днів.

Інші типи ЗП більш ефективні, але також мають певні різницю між собою.

Заряджання від побутової розетки 220 вольт

Зарядка електромобіля від розетки 220 здійснюється за допомогою підключення портативного зарядного пристрою, яке приєднується до мережі електроживлення за допомогою звичайної вилки. Такий ЗП додається в комплекті

з автомобілем, має відносно невеликі габарити та вагу, завдяки чому його завжди можна возити із собою у багажнику авто.

Це найстаріший і універсальний спосіб зарядки електромобіля, тому що звичайну побутову розетку можна знайти практично будь-де. Але при цьому швидкість зарядки є найповільнішою, тому що побутова мережа з напругою 220 вольт не здатна видати більшу силу струму, необхідну для швидкого заповнення струмом батареї.

Але є й позитивний момент. Такий метод є щадним для батареї, так як ємність АКБ у цьому випадку зберігатиметься максимально тривалий термін.

Заряджання від бензогенератора.

Заряджання електромобіля від бензогенератора схоже за своїм принципом на зарядку від побутової розетки. Справа в тому, що бензиновий генератор виробляє той же змінний струм, напруга якого залежить від діодного моста та кінцевої схеми перетворення струму.

Бензогенератори виробляють на напругу 220 вольт, як й у побутової розетці. Але потужність у разі залежить від типу генератора. Як правило, такі пристрої значно поступаються побутовим електромережам, оскільки бензогенератор має певні обмеження (рис. 6).

Найбільшого поширення користуються генератори потужністю від 600 Вт до 2 кВт. Для порівняння, побутова розетка може дати максимальну потужність близько 4 кВт.

Рисунок 6 – Зарядка електромобіля від бензогенератора

Звичайно, існують і потужніші бензинові генератори, проте вони зустрічаються досить рідко, та й вартість їх дуже висока. У будь-якому випадку

зарядити електромобіль у такий спосіб цілком можливо, але швидкість зарядки безпосередньо залежатиме від потужності генератора. У цьому випадку застосовуються ті самі портативні ЗП.

Заряджання від трифазної мережі.

Заряджання електромобіля від мережі з напругою 380 В здатне значно скоротити час зарядки. За допомогою підвищення напруги збільшується потужність мережі, а також сила струму. Але важливо розуміти, що портативні ЗП не розраховані на таку напругу. Тому потрібно встановлювати стаціонарний зарядний пристрій, який буде підключений до мережі з напругою 380 вольт. При цьому підключення можна виконати двома типами:

• однофазна схема;

• трифазна схема.

Другий варіант здатний забезпечити більшою потужністю та прискорити процедуру повної зарядки АКБ. Різниця між цими схемами полягає лише в тому, що однофазний ланцюг живлення використовує лише одну фазу (лінію) з напругою 380 вольт. У другому випадку використовується три лінії, підключені паралельно. У цьому напруга залишається незмінною, але потужність мережі зростає втричі. Отже, значно зростає максимальна сила струму.

Подібні зарядні установки вже мають конектори для підключення до електромобіля. При цьому для різних країн використовуються різні стандарти:

• У США та країнах Азії використовується тип роз'єму J Максимальна потужність, що передається таким конектором, обмежена 7,4 кВт. Цей роз'єм має п'ять контактів.

Рисунок 7 – Конектор типу J з максимальною потужністю 7,4 кВт

• Mennekes – застосовується у європейських країнах та країнах СНД. Має сім контактів. Максимальна потужність, що передається, може досягати 43 кВт за умови трифазного ланцюга живлення або 7,4 кВт в умовах однофазного ланцюга. Максимальна сила струму має перевищувати 63 Ампера, а напруга – трохи більше 400 вольт (рис. 8).

Рисунок 8 – Конектор типу Mennekes до 43 кВт

Для організації такої зарядної станції вам знадобиться дозвіл від міської влади та міської електромережі.

Швидка зарядка постійним струмом.

Зарядка електрокара постійним струмом – це найпотужніший і найшвидший спосіб, оскільки така схема живлення дозволяє досягти найбільшої сили струму. Максимальне значення може коливатися не більше 125 ампер. Для підключення до такої станції використовується конектор типу CHAdeMO (рис. 9).

Рисунок 9 – Конектор типу CHAdeMO

Подібні станції встановлюються на спеціалізованих зарядних станціях та стоянках. Максимальна напруга не повинна перевищувати 500 вольт, а потужність – 62 кВт. Існують комбіновані зарядні станції з відповідними конекторами (CCS combo 2) (рис. 10).

Такий тип ЗП здатний видати найвищі показники:

• потужність від 0 до 100 кВт;

• сила струму – до 200 ампер;

• напруга – до 500 вольт.

За всіх своїх переваг, при зарядці електромобіля даним способом термін служби батареї значно знижується. Тому використовувати його варто тільки в крайніх випадках, коли час не терпить, а акумулятор автомобіля розряджений.

Рисунок 10 - Конектори для комбінованої зарядки CCS combo 2

Бездротове заряджання електромобіля.

Деякі виробники електромобілів розробляють бездротові зарядні станції. Їхня робота полягає в тому, щоб спеціальна платформа генерувала потужне електромагнітне поле. Автомобіль також оснащується спеціальним пристроєм (котушкою), який здатний перетворювати магнітне поле на електроенергію. У цьому випадку авто досить просто заїхати на відповідну платформу і стояти на ній до повної зарядки АКБ.

На сьогоднішній день існують бездротові ЗП, які здатні видавати максимум 20 кВт, що досить багато для такого типу. Однак розробники на цьому не зупиняються і вже ведуться роботи над створенням бездротової зарядної станції з потужністю до 50 кВт.

Головна перевага даного типу ЗУ полягає в його універсальності: вам не потрібні дроти та роз'єми для підключення до автомобіля. Бездротовий зарядний пристрій для електромобіля отримав рекордну потужність 120 кВт.

Інженери з Національної лабораторії Oak Ridge (ORNL) розробили бездротову систему зарядки для електромобілів потужністю 120 кіловат. Таким чином, вони у шість разів збільшили потужнісний показник попередньої технології та значно скоротили час зарядки, що дозволило новому пристрою на рівних конкурувати у швидкості та зручності з традиційними бензиновими заправками.

За словами дослідників, інноваційна бездротова зарядка передає 120 кіловат енергії з 97-відсотковою ефективністю, що можна порівняти зі звичайними, провідними високопотужними швидкими зарядними пристроями. У лабораторній демонстрації енергія передавалася через п'ятнадцятисантиметровий повітряний зазор між двома магнітними котушками та заряджала акумуляторну батарею.

Для досягнення потужності 120 кіловат, команда ORNL розробила новий дизайн котушки, яка була оптимізована за рахунок новітніх силіконово-карбідних

силових електронних пристроїв, що дозволило зберегти легкість та компактність системи (рис. 11).

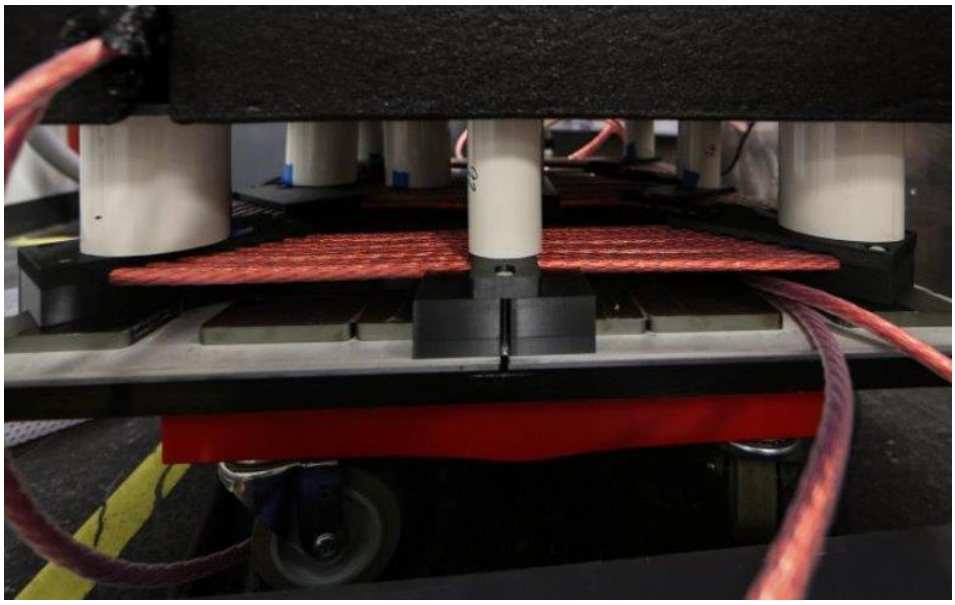

Рисунок 11 - Бездротове заряджання електромобіля

Новий потужний бездротовий зарядний пристрій отримує електрику з мережі і перетворює його на високочастотний змінний струм, який генерує магнітне поле, що передає енергію повітрям на відстань до 15 см. Як тільки енергія передається вторинній котушці, вона перетворюється назад в постійний струм і зберігається в батареї .

Як заявляють розробники, створений прототип значно наближає створення систем потужністю від 350 до 400 кіловат, які можуть скоротити час зарядки для електромобілів до 15 хвилин і менше.

Найбільш поширені способи заряджання.

Найбільшим поширенням у наш час у європейських країнах, у тому числі країнах СНД, користуються зарядки від побутових розеток, оскільки саме цим способом можна зарядити свій електрокар у гаражних умовах.

Якщо ж говорити про електрозаправні станції, то в цьому випадку найчастіше використовуються ланцюги трифазного живлення. Також трифазні зарядки можна встановлювати і в гаражах, отримавши заздалегідь дозвіл від міських електромереж.

Зарядні станції з постійним струмом зустрічаються досить рідко, в основному в США та країнах Азії, а також у деяких європейських державах. Встановлювати їх у гаражі немає сенсу, оскільки вони псують батарею. І якщо ви залишаєте машину на ніч в гаражі, краще зарядити батарею від звичайної розетки або встановити ЗП з трифазним живленням.

1.3 Стандарти зарядних станцій та роз'ємів

Електрокари різних виробників комплектуються своїми варіантами роз'єму. І не обов'язково, що зустрінута на заправці буде обладнана пристроєм відповідного типу.

Уникнути проблем український водій може, користуючись спеціальними сайтами та мобільними програмами. На них позначені електрозаправки по всій країні та зарядні станції, що найближчі до автомобіля.

Американські стандарти.

Перші стандарти електричних зарядок з'явилися у Сполучених Штатах. У цій країні зарядні станції ділять на три типи – Level 1, 2 чи 3.

Електрозаправки першого рівня – звичайні пристрої, схожі на зарядки змінного струму. З їхньою допомогою можна за годину зарядити електромобіль для поїздки всього на 20-40 км. Більшість електрокарів заряджаються на такій станції 8-12 годин.

Зарядки типу **AC Level 2** є станції, які підключаються до звичайної електромережі. Швидкість приблизно вдвічі вища порівняно з першим рівнем.

Середній час відновлення заряду акумулятора – 4-6 годин. До цього типу належить більшість сучасних американських станцій.

Тип **Level 3** – швидке заряджання постійного струму з напругою 480В і потужністю до 135 кВт. Рідко зустрічається у європейських країнах, зокрема, в Україні. Призначена в першу чергу для автомобілів Tesla, акумулятор яких заряджається лише за 30-40 хвилин на 80%.

Європейська класифікація.

У Європі можна зустріти зарядні станції, які діляться на 4 різновиди – вже не за рівнем, а за режимом:

- **Mode 1**. Найменша потужна станція, здатна живитися від побутової електромережі. Час заряджання електрокара з його допомогою – до 10-12 годин. Відповідає американському типу Level 1 та майже не застосовується для сучасних електромобілів.

- **Mode 2**. Стандартна зарядна станція змінного струму, яку застосовують і в побуті, і на електрозаправках. Підходить для електромобілів практично будь-якого типу, з традиційним роз'ємом та системою захисту всередині кабелю. Час заряджання стандартного електрокара – до 8 год.

- **Mode 3**. Найпотужніший режим для зарядних станцій зі змінним струмом. Сумісний із роз'ємами типу Type 1 (SAE J1772) для однофазних ланцюгів і Type 2 – для трифазних. Час заряджання може досягати від декількох хвилин до 3-4 годин.

- **Mode 4**. Швидкісна зарядка, що використовує вже не змінний, а постійний струм. Час відновлення ємності акумулятора середнього електрокара - півгодини до 80%. Ціна таких станцій є досить високою, і в Україні вони зустрічаються рідко.

1.4 Приклади схем зарядних пристроїв

Ще одним вузлом з великими струмами, що комутуються, є блок ЗП для акумулятора. Як відомо в електромобілях стоять акумулятори з напругою 12 – 200 В (залежно від моделі) та ємністю в межах 100 – 500 А. Значить заряджати їх потрібно струмом близько 10 – 50 А. Можна реалізувати цю функцію на класичному транзисторному стабілізаторі з двома транзисторами MJ15003, включеними в паралель (рис. 12).

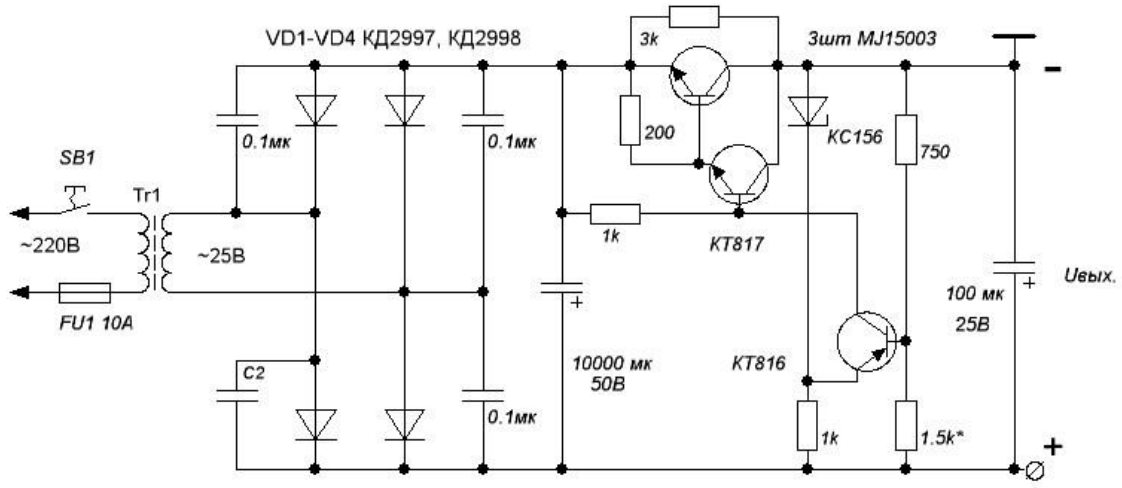

Рисунок 12 – Потужний зарядний пристрій

Так як максимальний вихідний струм мікросхеми L200 становить 10 А, збільшимо потужність мікросхеми паралельно включеним транзистором MJ15004 (рис. 13).

Думаю немає необхідності говорити про те, що радіатори обов'язкові, причому дуже великі радіатори - потужність, що розсіюється на них, може досягати сотні ватів. Ця схема може видати струм до 40 А при вхідній напрузі 35 В. При виборі трансформатора і випрямляча - найкраще брати вхідну напругу стабілізатора на 10-15 більшого вихідного.

Електролітичний конденсатор фільтра повинен бути десь 10000 - 40000 мкФ 50 В. Акумулятори заряджаються таким зарядним пристроєм струмом, який дорівнює 10 - 20% від номінальної ємності літій - іонних акумуляторів, приблизно за ніч. Можна встановити для електромобіля батарею складену із звичайних свинцевих акумуляторів, на дослідних зразках це дозволяло проїхати на одній зарядці близько 50 км зі швидкістю до 100 км/год.

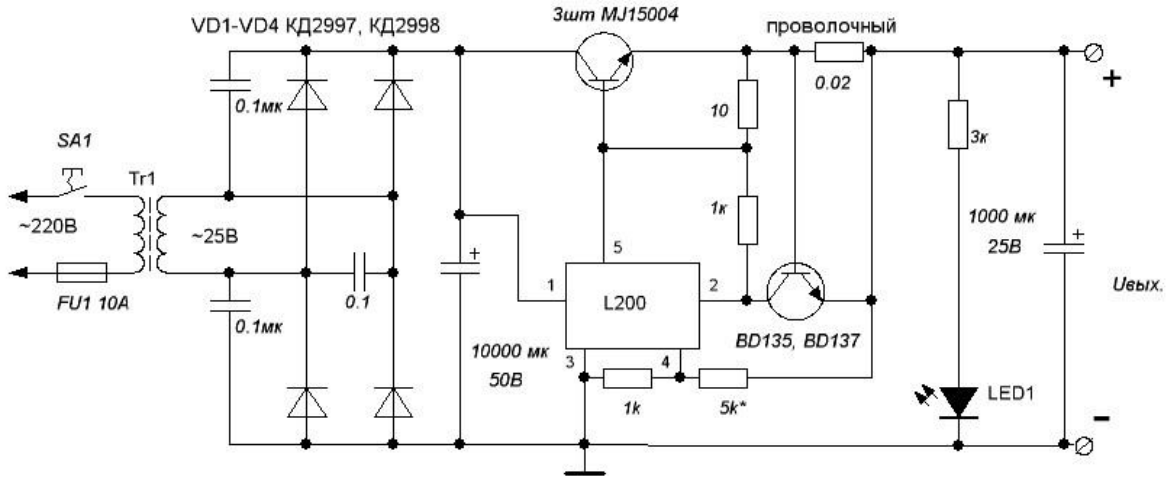

Рисунок 13 – Потужний зарядний пристрій на мікросхемі L200 і транзисторі MJ15004

Враховуючи темпи розвитку електромобілів, можна зробити висновок, що це перспективний вид транспорту. А мережі електрозаправок, що постійно розвиваються, незабаром дозволять без обмежень їздити не тільки в межах міста, а й на заміських трасах. Більше того, завдяки наявності портативних ЗП вже сьогодні можна зробити зупинку на ніч та зарядити батарею у придорожньому готелі.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Акумулятори в сучасних електромобілях

Електромобіль є найсучаснішим транспортним засобом, і автолюбителі дедалі більше пересідають на них у багатьох країнах світу. Вже близько мільйона людей по всьому світу активно користуються електрокарами, адже на відміну від традиційних автомобілів, що працюють на паливі, що спалюється, електрокар більш економічний в експлуатації і в цілому більш практичний.

Тим не менш, при зміні транспортного засобу на електричне, у водія неминуче виникають питання щодо обслуговування, ремонту, вартості акумуляторів і т. д. Незважаючи на всі ці питання, виявляється, що електромобілі зрештою мають ряд переваг перед звичайними автомобілями.

Рисунок 14 – Один із варіантів заряду електромобіля

Отже, електрокари - це автомобілі, які використовують для своєї їзди електричну енергію, що запасається в акумуляторі. Дана технологія дозволяє зробити електромобіль удвічі дешевшим в експлуатації, порівняно з автомобілем на бензині, а також більш маневреним на дорозі. Вже сьогодні існує кілька типів акумуляторів для електрокарів: літій-іонні, літій-сірчані, алюміній-іонні та метал-повітряні.

Акумулятори будь-якого типу набираються у вигляді осередків, що з'єднуються паралельно і послідовно у великі зборки необхідної ємності.

Оскільки електрокари розрізняються між собою за потужністю, то й батареї вони не однакові, тобто складаються з різної кількості осередків. У деяких моделей напруга тягового акумулятора становить менше 400 вольт, в інших – 800 вольт. Нова батарея розрахована на тривалий період експлуатації, і її повного заряду вистачає на максимальний пробіг, але згодом акумулятор зношується та

потребує заміни. А у разі пошкодження частини осередків модульна конструкція акумулятора дозволяє його ремонтувати.

І тут важливо розуміти, що підбір нової батареї, у разі виснаження наявний, проводиться індивідуально, відповідним чином програмується бортовий комп'ютер. Причому ремонтом і заміною батареї займається майстер, який має профільну освіту.

Спочатку ресурс тягової батареї електрокара обмежений заявленим виробником терміном її експлуатації, зазвичай від 5 до 10 років, залежно від моделі виробу. Згодом ємність середньостатистичної батареї знижується: у перші кілька років вона втрачає до 10% ємності, далі - до 20% за три роки, а потім - по 1% на рік. Так чи інакше, у певний момент батарею неминуче доведеться міняти. Але мати запасний акумулятор під рукою багато років не потрібно.

Вживані акумулятори від електрокарів не викидають. Їх часто влаштовують у системи автономних домашніх систем електропостачання на сонячних батареях, що дуже практично. Якщо ж батарея більше не потрібна, її слід правильно і безпечно утилізувати для навколишнього середовища, зазвичай цим займаються самі виробники акумуляторів.

Отже, електрокари - це автомобілі, які використовують для своєї їзди електричну енергію, що запасається в акумуляторі. Дана технологія дозволяє зробити електромобіль удвічі дешевшим в експлуатації, порівняно з автомобілем на бензині, а також більш маневреним на дорозі. Вже сьогодні існує кілька типів акумуляторів для електрокарів: літій-іонні, літій-сірчані, алюміній-іонні та метал-повітряні.

Акумулятори будь-якого типу набираються у вигляді осередків, що з'єднуються паралельно і послідовно у великі зборки необхідної ємності.

Оскільки електрокари розрізняються між собою за потужністю, то й батареї вони не однакові, тобто складаються з різної кількості осередків. У деяких моделей напруга тягового аккумулятора становить менше 400 вольт, в інших – 800 вольт.

Нова батарея розрахована на тривалий період експлуатації, і її повного заряду вистачає на максимальний пробіг, але згодом акумулятор зношується та потребує заміни. А в разі пошкодження частини осередків модульна конструкція акумулятора дозволяє його ремонтувати.

І тут важливо розуміти, що підбір нової батареї, у разі виснаження наявний, проводитися индивидуально, відповідним чином програмується бортовий комп'ютер. Причому ремонтом і заміною батареї займається майстер, який має профільне освіту.

Спочатку ресурс тягової батареї електрокара обмежений заявленим виробником терміном її експлуатації, зазвичай від 5 до 10 років, залежно від

моделі виробу. Згодом ємність середньостатистичної батареї знижується: у перші кілька років вона втрачає до 10% ємності, далі – до 20% за три роки, а потім – по 1% на рік. Так чи інакше, у певний момент батарею неминуче доведеться міняти. Але мати запасний аккумулятор під рукою багато років не потрібно.

Вживані акумулятори від електрокарів не викидають. Їх часто влаштовують у системи автономних домашніх систем електропостачання на солнечних батареях, що дуже практично. Якщо ж батарея більше не потрібна, її слід правильно і безпечно утилізувати для довкілля, зазвичай цим займаються самі виробники акумуляторів.

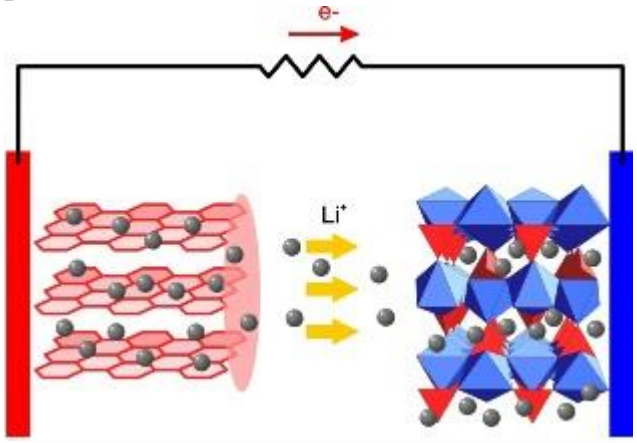

Рисунок 15 – Хімічні процеси у літієвому акумуляторі

Номінальна напруга літій-іонного акумулятора становить 3,6 вольта, проте різниця потенціалів при заряджання може досягати 4,23 вольта. У зв'язку з цим фактом заряд проводиться при максимально допустимій напрузі не більше 4,2 вольта.

Деякі з'єднання літію можуть легко спалахувати, якщо напруга перевищена, тому в літій-іонні акумулятори традиційно вбудовуються контролери рівня заряду, що не допускають перевищення критичної напруги. Ще одним способом забезпечення безпеки є вбудований клапан для скидання надлишкового тиску усередині пакета. Літій-іонні елементи завжди закриті повітронепроникною оболонкою, тому що вплив води та кисню в атмосфері може швидко пошкодити компоненти елемента.

У разі перезаряджання або іншої події, що викликає підвищення тиску газу, пристрій відключення струму зсередини відключає елемент від зовнішніх підключень. У призматичних осередках для цієї мети часто використовується диск, який виштовхується назовні через надмірний тиск газу. До диска прикріплений позитивно заряджений язичок, який у такій ситуації розриває з'єднання. У циліндричних ланках звуження по колу стінки ланки дозволяє йому подовжуватися, що призводить до розриву внутрішньої сполуки.

Осередок іноді також включає резистивний датчик температури, опір якого збільшується з підвищенням температури. Цей елемент має дуже низький (майже незначний) опір при кімнатній температурі, а вище за певну температуру його опір швидко збільшується. Такі захисту можуть бути вбудовані в комірку, щоб знизити ризик термічної нестабільності через зовнішні причини.

Літій-ферофосфат LiFePO4 вважається найперспективнішим катодним матеріалом через свою екологічність. Кобальтат літію LiCoO2, у свою чергу, є отруйним і екологічно шкідливим, а у акумуляторів на його основі лише 50% іонів можна витягти зі структури з'єднання, адже якщо з нього витягти літій повністю, то структура стане нестабільною, кобальт перейде в ступінь окислення +4 і зможе окислити кисень, а атомарний кисень, що виділяється, стане окислювати електроліт, і відбудеться вибух. Акумулятори з підвищеною ємністю (на основі LiCoO2) надзвичайно вибухонебезпечні.

Літій-ферофосфат LiFePO4 був запропонований як катодний матеріал акумуляторів для потужніших пристроїв у 1997 році Джоном Гуденафом.

Літій-ферофосфат є в земній корі і не створить жодних екологічних проблем у майбутньому. З нього не може виділятися кисень, тому що він дуже міцно пов'язаний фосфором з утворенням стійкого фосфат-іона. Однак, для можливості застосування цього матеріалу, його потрібно було подрібнити на дрібні частинки, інакше він залишився б ізолятором через дуже малу провідність. Частинки зробили пластинчастими з малими розмірами вздовж напрямку руху іонів літію, потім покрили шаром нанометровим вуглецю.

Такі наночастинки LiFePO4 здатні заряджатися за 10 хвилин, а якщо модифікувати покриття, то час заряду скоротиться до 1-3 хвилин. У перспективі саме цей матеріал зможе забезпечити харчування електромобілів протягом 10 років. Вже зараз технологічно можливий цикл зарядки-розрядки за 5-10 хвилин за повної безпеки.

З погляду сучасної науки, розробка і випуск навіть портативного наноакумулятора не змусить довго чекати, і слово лише за широким технологічним впровадженням розробок. Щодо перспектив електромобілів, то зараз уже можна вважати, що саме вони стануть основним видом транспорту у містах найближчого майбутнього.

На сьогоднішній день найбільш потрібні акумулятори для електрокарів двох типів: **літій-іонні та метал-повітряні.** Вони не вимагають обслуговування протягом року, і часто експлуатація електрокара виявляється з ними безперебійною та тривалою. Безумовно, **літій-іонні батареї** - найчастіше встановлюваний варіант акумуляторів, просто через ряд явних переваг: досить висока щільність енергії, висока напруга, низький саморозряд (максимум 20% на рік і 6% на місяць), відсутність ефекту пам'яті, термін експлуатації - до 10 років.

Коштують такі акумулятори дорого, і дозволити їх собі може не кожен автолюбитель (залежить, крім іншого від марки авто). Є звичайно й інші недоліки: діапазон робочих температур від -20 до +50 ° С обумовлює небезпеку перегріву батареї плюс незахищеність від надлишкового заряду.

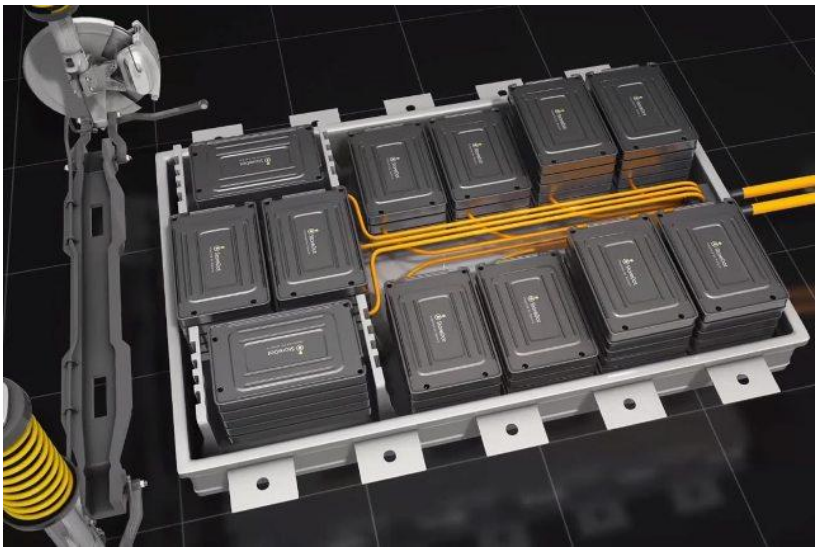

Рисунок 16 – Літій-іонні батареї

Метал-повітряні акумулятори.

Метал-повітряні акумулятори з'явилися на ринку не так давно, але вже мають непоганий попит у любителів електрокарів. На даний момент можна стверджувати, що такі батареї досить зносостійкі та якісні.

Крім того, вони компактні, мало важать, недорогі, легко утилізуються, при цьому забезпечують транспортному засобу оптимальний пробіг. До недоліків можна віднести: раптову зупинку, необхідність якісного фільтра, чутливість до низьких температур.

Рисунок 17 – Метал-повітряні акумулятори

Літій-сірчані акумулятори.

Літій-сірчані акумулятори для електрокарів відносяться до малообслуговуваних батарей, проте витримують вони всього до 60 циклів заряду-розряду. Технологія допрацьовується, удосконалюється, щоб зробити літій-сірчані акумулятори ефективнішими, і взагалі вважається досить перспективною.

Багато фірм працюють над акумуляторами цього типу. АКБ на даній основі мають підвищену ємність і ширший діапазон робочих температур, порівняно з літій-іонними батареями. Головна перешкода, яку потрібно зараз подолати — мала кількість циклів заряду-розряду.

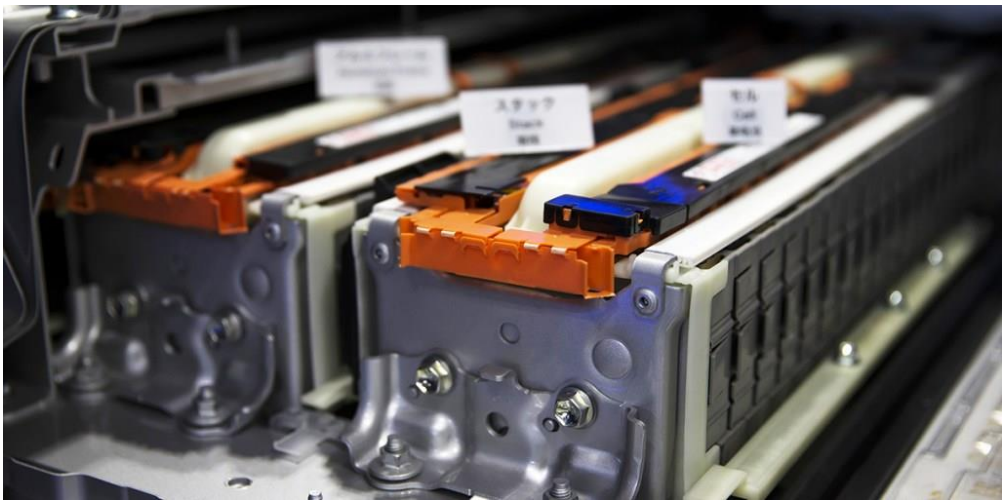

Рисунок 18 - Літій-сірчані акумулятори

Алюміній-іонні акумулятори.

Найменше користувачів електрокарів затребувані алюміній-іонні акумулятори, оскільки вони поки що мають мало циклів заряду-розряду та слабку продуктивність катодів. Відповідно, і попит на них мінімальний.

Зараз китайські розробники намагаються вдосконалити алюміній-іонні акумулятори, і є підстави припускати, що в майбутньому вони використовуватимуться більш активно. Алюміній-іонні акумулятори вважаються безпечнішими і обіцяють бути дешевшими.

В електрокарі, зазвичай, для живлення бортової мережі використовується окремий акумулятор. Тяговий акумулятор служить тільки для живлення електродвигуна, тому саме до тягового акумулятора пред'являються більш жорсткі вимоги щодо потужності і стійкості, адже саме завдяки йому і електричному приводу, що живиться від нього, електромобілі такі маневрені в порівнянні з бензиновими. Порівняльні характеристики акумуляторних батарей наведені у табл. 1.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики акумуляторів електромобілів

Типи акумуляторів	Свинцево-кислотні	Нікель-кадмієві	Нікель-метало-гідрідні	Літій-іонні
Питома енергія	33 Вт·ч/кг	45 Вт·ч/кг	70 Вт·ч/кг	120 Вт·ч/кг
Бортова енергія	6,4 кВт·ч	8,8 кВт·ч	13 кВт·ч	23,4 кВт·ч
Пробіг при 120 Вт·ч/км	53 км	73 км	114 км	195 км
Питома потужність	75 Вт/кг	120 Вт/кг	170 Вт/кг	370 Вт/кг
Питома енергія в одиниці обєму	75 Вт·ч/л	80 Вт·ч/л	160 Вт·ч/л	190 Вт·ч/л

Найкращі технології акумуляторів для електрокарів.

Живлення електричного мотора в електрокарі має бути забезпечене на найвищому рівні, тому в технології створення батарей завжди йдуть удосконалення. Великі надії зараз покладено на **графен** - особливу форму вуглецю. Він недорогий у виробництві, і батарея з ним виходить вчетверо дешевше ніж літієва.

Багато країн вже займаються виготовленням тягових батарей на основі графену. Теоретично зарядка на 1000 кілометрів пробігу займатиме лише близько 8 хвилин. У найближчому майбутньому **графенові** акумулятори однозначно заявлять про себе на практиці, тим більше, що в Німеччині електрокари на них вже з успіхом тестують.

2.2 Термін служби літій-іонних акумуляторів

1. Використовуйте лише оригінальні батареї разом із оригінальними пристроями. Справа в тому, що підвищення напруги лише на кілька відсотків здатне вдвічі скоротити кількість циклів заряду/розряду.

У той же час навіть незначне зниження зарядного струму може призвести до неповної зарядки акумулятора. Звичайно, нічого поганого в цьому випадку не станеться. Батарейка збереже свою ємність, але Вам буде неприємно дізнатися про постійний недозаряд.

2. Проведіть повну зарядку відразу після першого увімкнення. Виробники навмисне заряджають акумулятори лише на 40 відсотків їх номінальної ємності, щоб ті не втрачали в обсязі під час транспортування. Тому відразу після увімкнення зарядного пристрою під'єднайте до мережі і виконайте повний цикл заряду. Також, не варто вірити міфам про «24-годинний заряд для розгойдування батарей», сучасні прилади самостійно зупиняють подачу струму по досягненню 100-відсоткової ємності.

3. Не допускайте роботу приладів за температури нижче -20 і вище +30 за шкалою Цельсія. Це може призвести до несправності акумуляторів. Але, ось до -18 використання техніки практично нешкідливе. Єдине, Ви можете помітити швидше розрядку. А, ось для зарядки потрібно вибрати тільки те приміщення, де є комфортна плюсова температура.

4. Не допускайте повного розряду. Багато хто вважає, що оптимально використовувати батарею від і до. Але це не більше, ніж міф. Оптимальною буде постійна робота в межах від 10 до 90%. Так-так, повного заряду також слід уникати. Однак робити це трохи важче, а значить рекомендувати такий спосіб як обов'язковий не варто.

5. Тримайте акумулятори правильно. Здавалося б, що може бути простішим – вийняв батарейку і поклав на полицю. Але, справа в тому, що при повному або нульовому заряді ємність батарей скорочуватиметься при тривалому простої. Отже, доведіть показник заряду до рівня 40% і тільки після цього можете надійно запакувати акумулятор і покласти в холодильник (тільки не в морозильну камеру). Зберігання в таких умовах забезпечить довге і безтурботне життя Вашому маленькому помічнику.

Ресурс Li-ion батарей в електромобілях.

Термін служби літій-іонних батарей для електромобілів становить 1000-1500 циклів заряд-розряд, що в середньому відповідає 8-10 років експлуатації. Вдвічі більший ресурс мають АКБ типу LiFePO4. Виробники електромобілів дають свою продукцію гарантію 5–8 років. Тому якщо при експлуатації екомобіля якийсь модуль батареї передчасно вийде з ладу, покупець може розраховувати на його заміну.

Термін служби літієвих АКБ скорочується при частому використанні технології швидкого заряджання. Цей метод зручний, т.к. дозволяє за півгодини або годину заповнити 80% заряду, але він у 1,5-2 рази прискорює природну деградацію акумуляторів Li-ion. Тому, щоб продовжити термін служби батареї, її потрібно заряджати меншими струмами.

Варто відзначити, що батареї типу LiFePO4 менш чутливі до швидкого заряду і стійкіші до деградації, ніж Li-ion АКБ інших видів.

Зниження ємності АКБ.

Ємність Li-ion батарей поступово знижується, навіть якщо вони просто лежать на складі. За кілька років номінальна ємність АКБ зменшується на 20–30%. Наприклад, батареї популярних електромобілів Tesla Model S і Nissan Leaf практично втрачають 5–10% ємності за перші 2 роки експлуатації і ще 15–20% за наступні 3 роки. Надалі щорічне зниження ємності становить 1–5%.

У зв'язку з цим скорочується відстань пробігу на 1 заряді. Так, придбаний більше ніж 5 років тому Nissan Leaf може долати без підзарядки до 130 км шляху, хоча спочатку проїжджав 160 км. Випущені в 2013 році електромобілі Tesla Model S і зараз долають на 1 заряді не менше 200 км., але спочатку проїжджали 335 км. Схожі тенденції спостерігаються і в інших марок електромобілів.

Проблеми використання електромобілів узимку та їх вирішення.

Літій-іонні акумулятори дуже чутливі до температури. При цьому вони однаково погано переносять дуже високу і дуже низьку температуру, адже коли стає дуже холодно, електролітна рідина всередині батареї стає в'язкою і швидко втрачає якості, що акумулюють. Особливо це критично для електромобілів, які не мають власної системи управління температурою акумулятора.

Також на відміну від ДВЗ автомобілів, в яких двигун виробляє власне тепло, яке «обігріває» автомобіль, електрокари повинні це тепло брати десь ще, як правило, запускаючи нагрівач, що відбивається на ресурсі акумуляторної батареї та скорочення запасу ходу.

Крім того, при екстремальних температурах, бортовий комп'ютер взагалі може заблокувати резерв енергії в батареї для її збереження, оскільки АКБ найважливіший і дорогий компонент електромобілів.

Наприклад, так роблять електромобілі Tesla, попереджаючи, що частина накопиченої енергії в електромобілі в холодну погоду може бути недоступною і навіть додає індикатор сніжинки поруч із даними запасу ходу.

Втім подібний резерв передбачений практично у всіх сучасних електромобілях, тому що розрядка батареї в повний "нуль" один з найнебажаніших моментів для "здоров'я" акумуляторної батареї електромобіля, крім того, може бути критична взимку, так як бортові системи електромобілів не завжди коректно відображають кілометраж.

Коли доходить справа до експлуатації електромобіля в холодну погоду, часто зустрічаються 2 негативні моменти: обмеження можливостей рекуперативного гальмування, а точніше передачі в акумулятор енергії, що виробляється ним, і зниження швидкості зарядки, особливо швидкої, для захисту акумулятора. Те, як правильно використовувати ресурс акумуляторної батареї взимку та уникати можливих проблем із швидкою втратою ресурсу батареї, ми

вже докладно виклали в одній із наших статей, також ми публікували рекомендації з цього приводу від виробників електромобілів.

У довгостроковій перспективі для вирішення проблеми використання електрокарів в холодну пору, вчені працюють над створенням твердотільних батарей, в яких немає рідини і які не будуть такими чутливими до низьких температур. Але поки вони знаходяться на стадії лабораторних розробок, у найближчі 5-10 років, водіям доведеться дотримуватися кількох простих правил, які дозволять максимально збільшити ресурс акумулятора взимку:

• гаражне зберігання електромобіля (якщо це можливо);

• постійне підзаряджання електромобіля;

• підтримка дистанційного зв'язку з електрокаром; перевірка стану акумуляторної батареї;

• розумне використання кліматичної системи (включення обігріву локальних зон, таких як кермо або сидіння, а не всього салону);

• їзда в економічному режимі;

• паркування на сонці;

• прогрів електромобіля, коли він ще підключений до мережі.

В кінці хотілося б відзначити, що холодна погода не ворог електромобілю та його батареї, набагато більші збитки акумуляторної батареї може завдати її перегрів. Єдиний мінус, взимку запас ходу об'єктивно стає меншим через блокування резерву ємності та активне використання кліматичних систем, влітку ж у жарку погоду, при перегріві батареї відбувається її деградація.

2.3 Зарядка АКБ електромобілів

Заряджати акумуляторні батареї електромобілів можна на спеціальних зарядних станціях або в домашніх умовах від мережі 220 В. Вбудовані зарядні пристрої перетворять змінний струм мережі на відповідний для АКБ змінний струм потрібної напруги. Для заряджання від звичайної розетки використовуються ЗП потужністю від 3,6 кВт. Вони обов'язково мають захист від короткого замикання, перезаряду та перегріву.

Заряджання від звичайної електромережі триває довше, ніж від спеціальної станції. Наприклад, батарея ємністю 70 кВт•год може заряджатися від звичайної розетки 15–18 годин, але в зарядної станції – трохи більше 5 годин. У режимі швидкого заряджання запас енергії заповнюється лише за півгодини або годину, але часто використовувати цей спосіб не рекомендується.

Методи заряджання акумуляторів електромобілів.

Для заповнення АКБ електрокара використовується спеціальний шнур, що йде в комплекті з автомобілем. Він не тільки використовується для заряду

батареї, але й контролює процес заряджання, оберігає АКБ від перезаряду, перегріву та інших небезпечних станів. Заряджати акумуляторні батареї електрокарів можна різними способами:

1. Змінним струмом від побутової електромережі 220 В. Скільки заряджається акумулятор електромобіля від побутової розетки – залежить від ємності АКБ. Наприклад, батарея на 20–25 кВт•год заряджає приблизно за 7 годин. Для підзарядки використовується бортовий зарядний пристрій електрокара, що перетворює змінний струм електромережі на постійний. Швидкість заряджання залежить від потужності бортового зарядного пристрою.

2. Від побутової мережі за допомогою фірмового кабелю із захистом від перегріву та контролем процесу підзарядки. Власник отримує інформацію про хід підзарядки по індикаторах. Такі зарядні пристрої для акумуляторів електромобілів бувають 2 типи: європейського (220 В) та американського (120 В). Кабель поставляється разом із серійним електрокаром та має особливий роз'єм.

3. Від станції – змінним струмом підвищеної потужності. Станції мають належний захист та відстежують хід підзарядки. Підключення до станції виконується за допомогою вбудованого в неї кабелю з відповідним роз'ємом. Розетки можуть бути і в приміщенні, і на вулиці. Орієнтовний час заряджання – до 4 годин.

4. Швидке заряджання постійним струмом – виконується від електричних зарядних станцій CHAdeMO (System A, Yazaki) та CCS (System C). Здійснюється загалом за 30 хвилин рівня 80%. До 100% заряджати доведеться довше, т.к. процес уповільнюється, і йде балансування окремих осередків.

Рисунок 19 – Заряджання постійним струмом

Тривалість підзарядки АКБ електромобілів.

Тривалість зарядки АКБ залежить від методу, значення напруги в електромережі, ємності, глибини розряду і повноти підзарядки. Заряджання змінним струмом від побутової мережі триває приблизно в 2 рази довше, ніж від станції. Найшвидше відбувається зарядка від станції постійним струмом – у середньому 20–60 хвилин. Причиною повільного протікання процесу підзарядки може бути використання змінного струму, а батарея використовує постійний струм.

Що ємність АКБ і глибше її розряд, то довше доводиться її заряджати. Це пояснюється тим, як заряджається акумулятор електромобіля. Спочатку відбувається процес бустерної підзарядки, але зі збільшенням заряду швидкість споживання електроенергії падає. Тому швидке підзаряджання здійснюється не до повного заряду, а до 80%. Додатково на швидкість заряджання впливає температура повітря. Її оптимальне значення – близько +25 °С, при менших значеннях АКБ заряджається повільніше. На морозі заряджати батарею електрокара не рекомендується.

Заряд Li-ion акумулятора здійснюється в комбінованому режимі. Спочатку при постійному струмі, а далі при постійній напрузі (рис. 20).

Перша стадія заряду триває близько 40хв, друга стадія довше. Момент завершення заряду настає коли величина струму заряду знизиться до значення 3% від начального. Швидший заряд може бути досягнутий при імпульсному режимі. Втрата ємності за рахунок саморозряду становить 5-10% на рік.

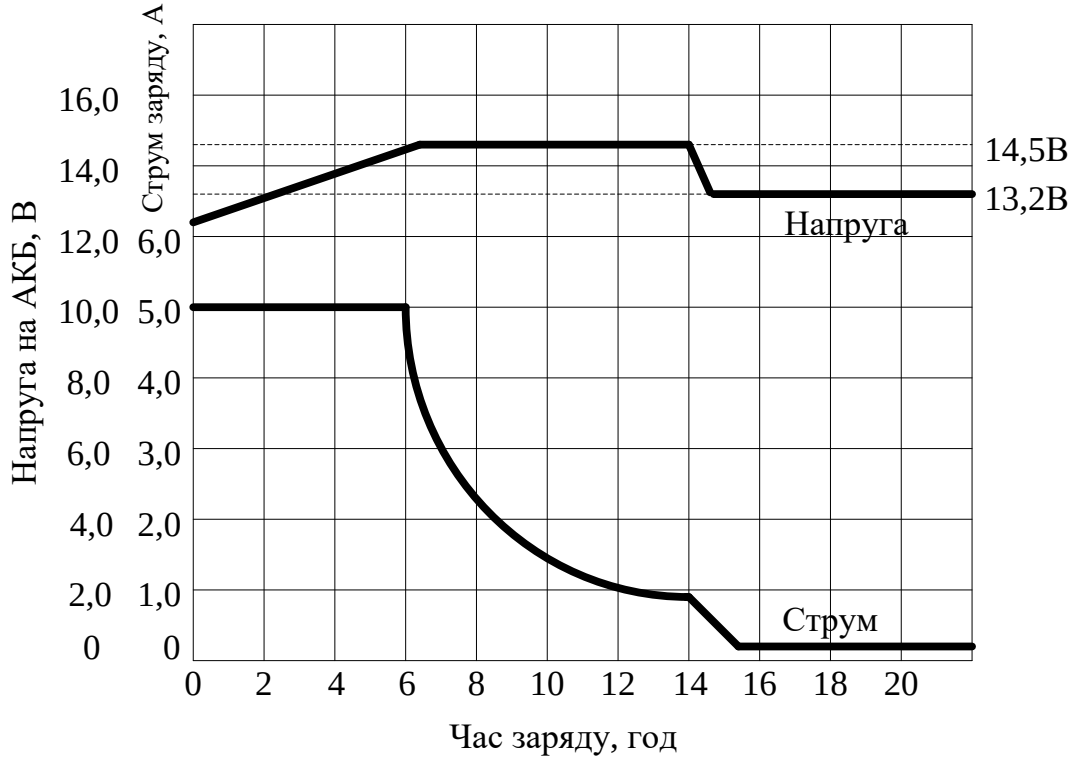

Рисунок 20 – Діаграми струму та напруги при зарядці АКБ

2.4 Ємність акумуляторної батареї електромобіля

Як падає ємність акумулятора електромобіля за кілька років? Ресурс батареї обмежений терміном експлуатації. Використовувати один акумулятор можна від 5 до 10 років, залежно від моделі та варіанта. Згодом він втрачає потужність. Вже перші 5-10% ефективності батарея втратить після двох років експлуатації, і 15-20% ще через три роки (рис. 21).

Усі наступні роки втрата становитиме не більше ніж 1%. Внаслідок цього доведеться міняти стару батарею на нову. Важливо! З 2018 року функціонують заправні станції для електрокарів із потужністю 350 кВт. Чи обов'язково мати запасний акумулятор?

Термін служби акумулятора при нормальному використанні - до 10 років, а значить, зберігати запасний немає сенсу. За такий проміжок часу може з'явитись новинка, або захочеться просто змінити марку автомобіля. Що робити з акумулятором?

Використана АКБ може легко отримати шанс на друге життя. З їхньою допомогою обладнують системи подачі електрики до приміщень. Живлення буде відбуватися від сонячних батарей. Такий спосіб дуже практичний та вигідний. Якщо в цьому немає потреби, варто подбати про нешкідливу для довкілля утилізації акумулятора. Як правило, компанія-виробник електрокара приймає обернено використані батареї і далі займається їх утилізацією.

Здебільшого в батареях використовується літій-марганцевий катод, який власне і забезпечує весь функціонал батареї, проте він є чутливим до тепла і відрізняється прискореним руйнуванням і втратою потужності при температурі, що збільшується.

Існує два джерела втрати ємності акумулятора: календарна та експлуатаційна.

Календарна втрата ємності - це втрата з часом, а експлуатаційна пов'язана із зарядженням та розрядженням акумулятора. Експлуатаційні втрати залежать від максимального рівня заряду та від глибини розряду, різниця між якими є відсотком від загального діапазону потужності, який використовується під час циклу.

Технічно термін служби батареї складається з чотирьох змінних:

• середня температура;

• стандартне відхилення температури;

• середній стан заряду;

• стандартне відхилення заряду.

Відповідно до цих критеріїв крива втрати ємності акумуляторних батарей з часом виглядає так.

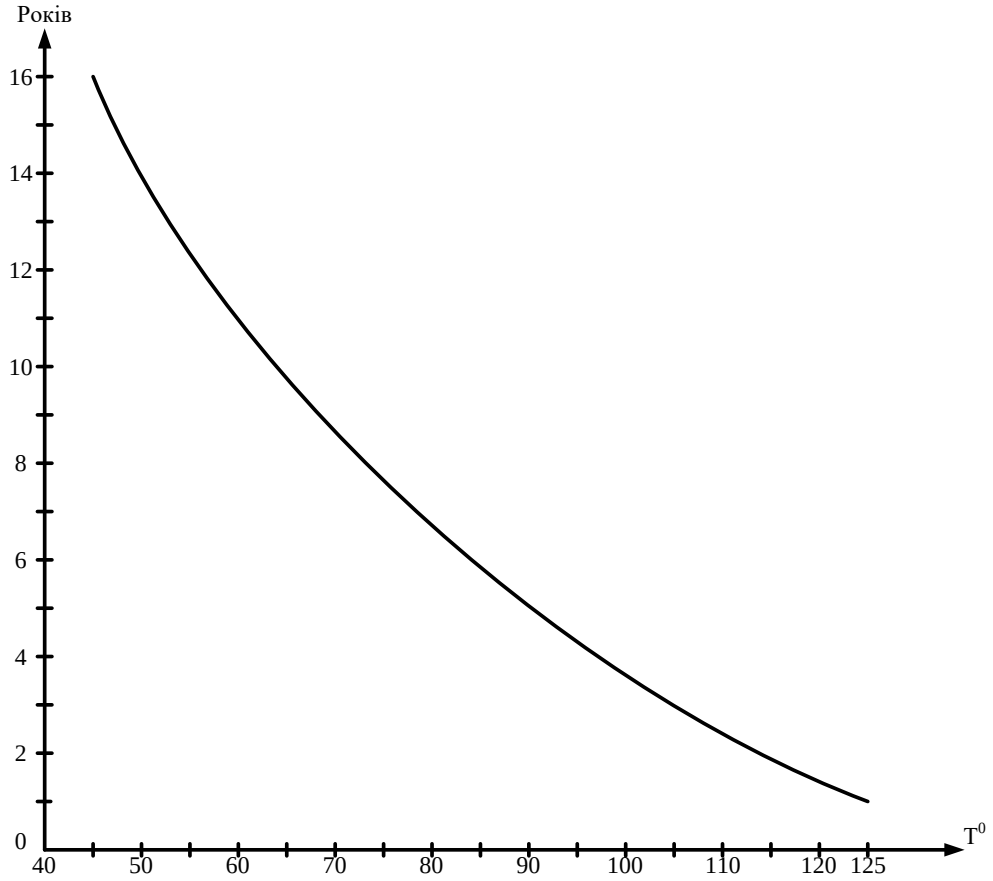

Рисунок 21 – Втрати ємності АКБ з роками експлуатації

Деградація батареї електромобіля.

Деградація батареї – це природний процес, який постійно зменшує кількість енергії, яку може зберігати батарея, або кількість енергії, яку може видавати.

Стан здоров'я або рівень працездатності акумулятора визначається параметром «State Of Health» (SOH). Зазвичай SOH становить 100% для нового акумулятора і з часом залежно від умов експлуатації поступово знижується. SOH – це показник того, скільки енергії може видавати батарея (кВт·год).

Майте на увазі, що це не те саме, що й запас ходу транспортного засобу (відстань, на який транспортний засіб може проїхати ці кіловат-години). Запас ходу електромобіля залежить від низки факторів, включаючи рівень заряду, топографію, температуру, звички водіння та пасажирські чи вантажні навантаження.

Основні фактори, що впливають на здоров'я літій-іонного акумулятора:

- термін існування;
- висока температура експлуатації;
- використання за низького рівня заряду (повне розрядження батареї);
- високий електричний струм заряджання;
- використання (енергетичні цикли).

Незважаючи на те, що було проведено безліч досліджень про стан батареї, дуже мало даних було отримано за реальними характеристиками електромобілів з часом, не говорячи вже про порівняння різних марок та моделей дотепер.

Деградація батареї електромобіля відбувається нелінійним способом. Як правило, спочатку відбувається сильне падіння ємності, яке потім продовжує знижуватися, але набагато більш помірними темпами. Ближче до кінця терміну служби батареї спостерігатиметься остаточне значне падіння ємності батареї. Очікується, що нормальна крива деградації виглядатиме приблизно так:

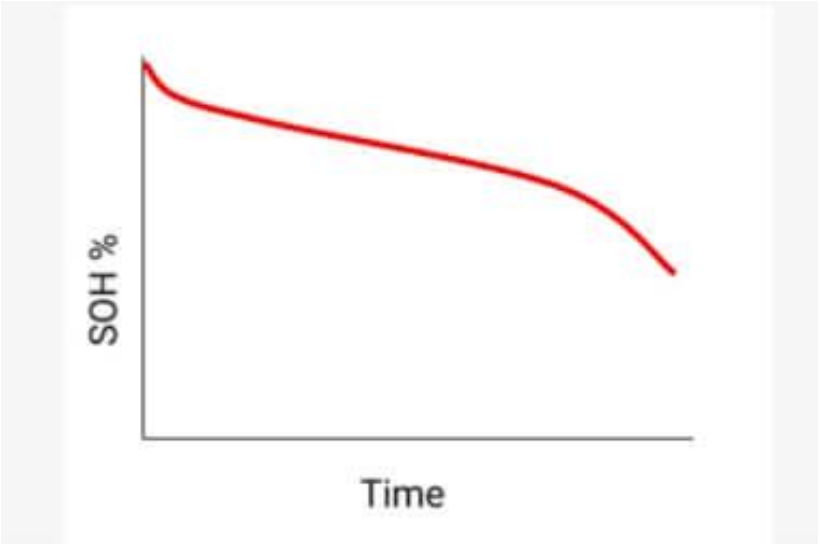

Рисунок 22 – Деградація батареї електромобіля

На рівень деградації впливає хімічний склад батареї та керування температурою батареї. Але основна відмінність полягає в тому, чи акумулятор має рідинне охолодження або тільки повітряне. Аналіз Geotab показує, що Tesla Model S 2015 з рідинним охолодженням має середньорічний рівень деградації 2,3%, в порівнянні з Nissan Leaf 2015 з повітряним охолодженням 4,2%. Це означає, що акумулятори з рідинним охолодженням деградують повільніше, ніж батареї з повітряним охолодженням.

Використання швидкого зарядного пристрою постійного струму прискорює процес деградації. Деградація, яка відбувається при частому заряджання постійним струмом (DC), посилюється в жаркому кліматі. Багато автовиробників пропонують обмежити використання швидкого заряджання (або автоматично знижують зарядний струм при досягненні певної критичної температури батареї або кількох послідовних зарядок), щоб продовжити термін служби батареї автомобілів.

Різниця між тими транспортними засобами, які ніколи не використовували швидку зарядку постійним струмом (DC), та тими, що використовували його навіть іноді в сезонному чи спекотному кліматі, була помітною. Хоча можуть бути інші фактори (це не був контрольований експеримент).

Графік витрати електроенергії АКБ при різній швидкості автомобіля наведений на рис.22.

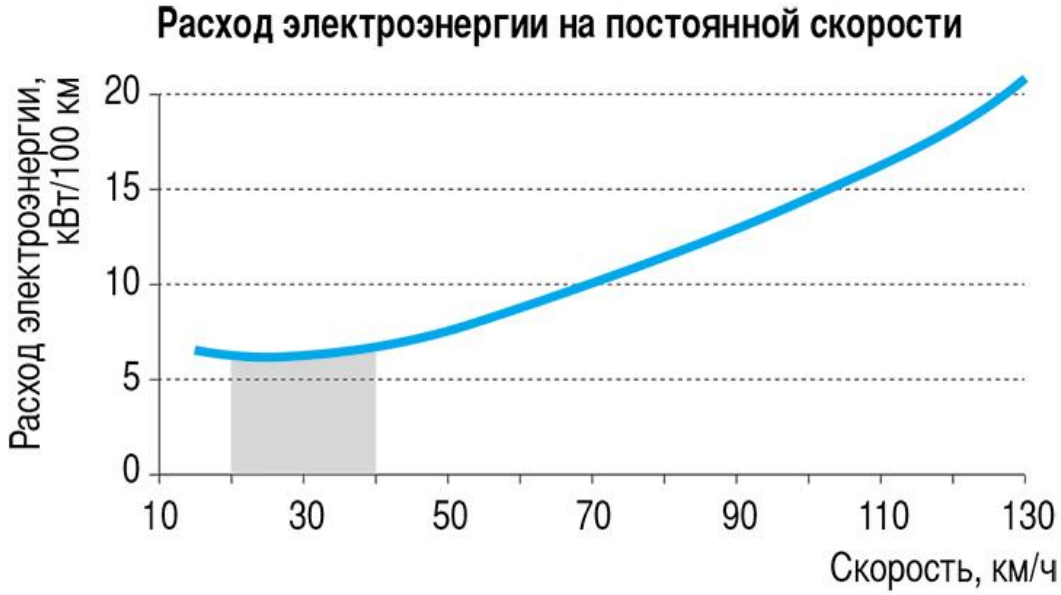

Рисунок 22 – Витрати електроенергії АКБ на 100 км

Графіки саморозряду АКБ та терміну служби батареї у циклічному режимі, наведено на рис. 23 та рис. 24, відповідно.

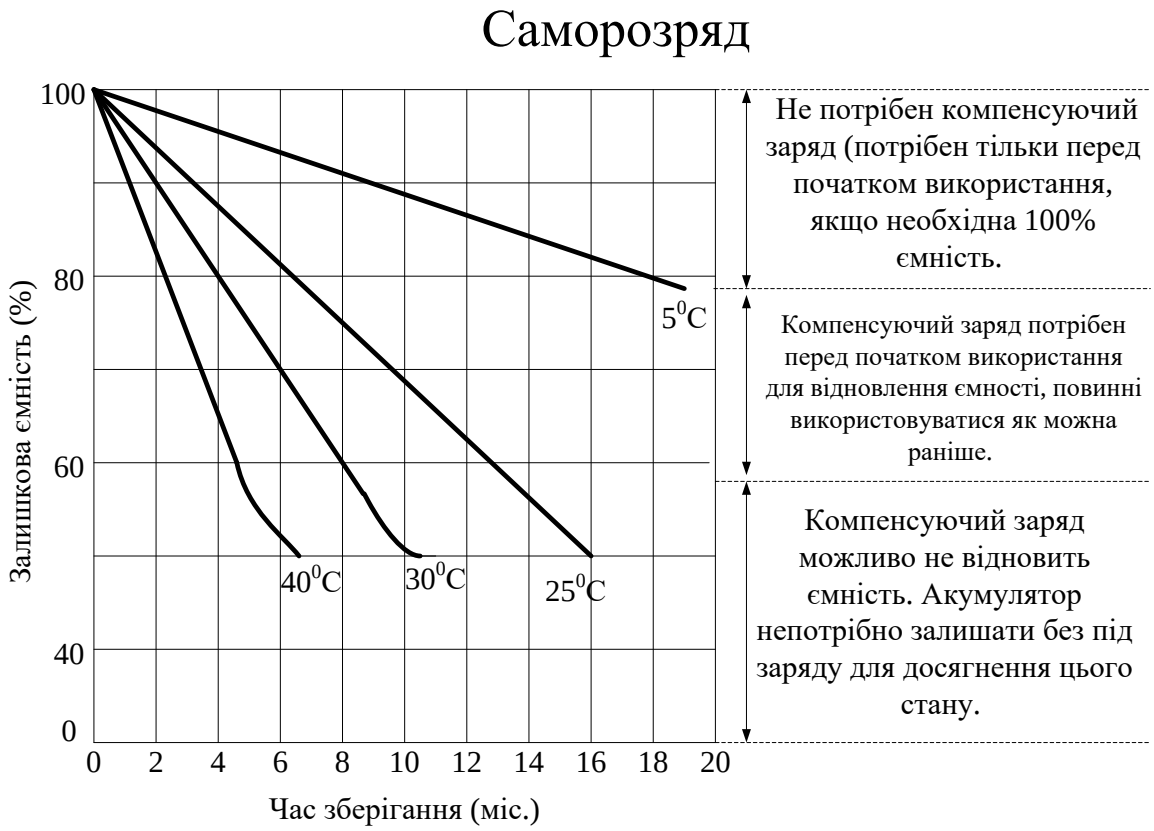

Рисунок 23 – Залишкова ємність АКБ від терміну зберігання

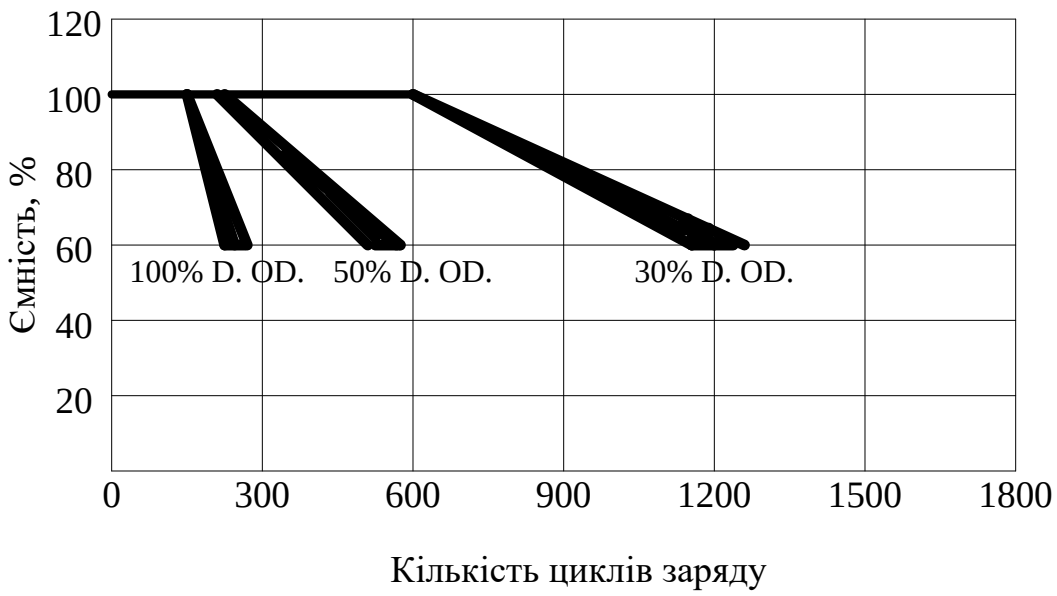

Рисунок 24 – Залишкова ємність АКБ у циклічному режимі

Поради щодо продовження терміну служби батареї електромобіля:

• Намагайтеся не заряджати батарею електромобіля на 100% та розряджати до 0%. В ідеалі, зберігайте свій SOC в межах 20-80%, особливо коли ви залишаєте електромобіль без експлуатації на тривалий час. Повністю заряджати електромобіль рекомендується лише перед далекими поїздками.

• Мінімізуйте швидке заряджання постійним струмом, особливо при високих температурах навколишнього середовища, щоб не перегрівати батарею.

• Робіть все можливе, щоб уникнути екстремально високих температур нагрівання батареї, наприклад, у спекотні дні паркуйте електромобіль у тіні.

• Інтенсивне використання не є проблемою для акумулятора, тому електромобіль не повинен простоювати, а інтенсивно використовуватись за призначенням.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

3.1 Розробка алгоритму функціонування пристрою

Алгоритми заряджання. Різні алгоритми різняться по ефективності зарядки, часу зарядки, термінам служби батареї та вартості. Проте дослідники досі що неспроможні визначити, який їх найбільш підходить додатку, оскільки було розроблено безліч алгоритмів; у кожного є свої переваги та недоліки.

Наприклад, метод заряджання постійним струмом і постійною напругою має більш тривалий час заряджання в порівнянні з алгоритмом багатоступінчастої зарядки струмом, у той час як вартість дослідження останнього вище, ніж першого. Зважаючи на плюси та мінуси кожного алгоритму, мета полягає в тому, щоб зіставити кожен із них з відповідним додатком.

Метод заряджання **постійним струмом** регулює вихідну напругу зарядних пристроїв або опір послідовно з батареєю, щоб підтримувати постійний струм. Він використовує постійне значення струму від початку до кінця заряджання. Оскільки нікель-кадмієві батареї легко поляризувати під час звичайної зарядки, електроліт безперервно виробляє водень-кисневий газ як у звичайних алгоритмах заряджання з постійною напругою, так і з постійним струмом.

Під дією внутрішнього високого тиску кисень проникає до негативного електрода та взаємодіє з кадмієвою пластиною з утворенням CdO, що призводить до зниження ефективної ємності електродної пластини. Оскільки допустима поточна ємність акумулятора поступово зменшується в міру просування процесу заряджання, це призвело до перезарядження акумулятора в більш пізній період заряджання. Зрештою, це також призведе до різкого падіння ємності батареї.

Широко використовуэтьс зарядка **постійною напругою.** Стартерна акумуляторна батарея заряджається постійною напругою під час руху автомобіля. Якщо вказане постійне значення напруги є відповідним, це може гарантувати, що батарея повністю заряджена.

Варіація алгоритмів заряджання з постійним струмом / постійною напругою

Алгоритм заряджання CC/CV прискореного зарядного пристрою є подальшим розвитком алгоритмів постійного струму/постійної напруги. Замість використання постійної напруги та струму протягом усього періоду заряджання, він підвищує ефективність зарядки за рахунок максимального збільшення напруги в перший період, при цьому акумулятор досягає приблизно 30% від своєї номінальної зарядної ємності.

Після закінчення цього періоду алгоритм тарифікації перемикається на стандартний CC/CV. Через початкову вищу зарядну напругу BC-CC/CV може заряджати акумулятор швидше, ніж CC/CV, але перед зарядкою необхідно повністю розрядити акумулятор. Оскільки зарядний пристрій повинен забезпечувати змінну напругу, всі компоненти повинні приймати найвищу напругу, що генерується зарядним пристроєм, що підвищує. Розряджання акумулятора перед заряджанням важливе, оскільки це вплине на ефективність заряджання алгоритму та термін служби акумуляторів.

Схема алгоритму функціонування пристрою, наведена на рис. 25.

Багатофункціональність проектованої системи зарядки є різноманітность режимів її роботи. Вона забезпечує два режима роботи: понижуючий та підвищуючий напругу на виході пристрою.

Система зарядки забезпечує наступні способи зарядки АКБ:

– заряд від внутрішньої акумуляторної батареї зарядного пристрою;

– заряд електромобіля від електричної мережі;

– заряд електромобіля від енергії сонячної батареї;

- заряд внутрішньої акумуляторної батареї зарядного пристрою від електромережі;

– заряд внутрішньої акумуляторної батареї зарядного пристрою від сонячної батареї.

Після вмикання пристрою мікроконтролер (МК) по черзі приєднує усі доступні джерела напруги. Аналогово-цифровий перетворювач замірює значення струму на вході імпульсного перетворювача. На блоці установки режимів, відображаються отримані данні.

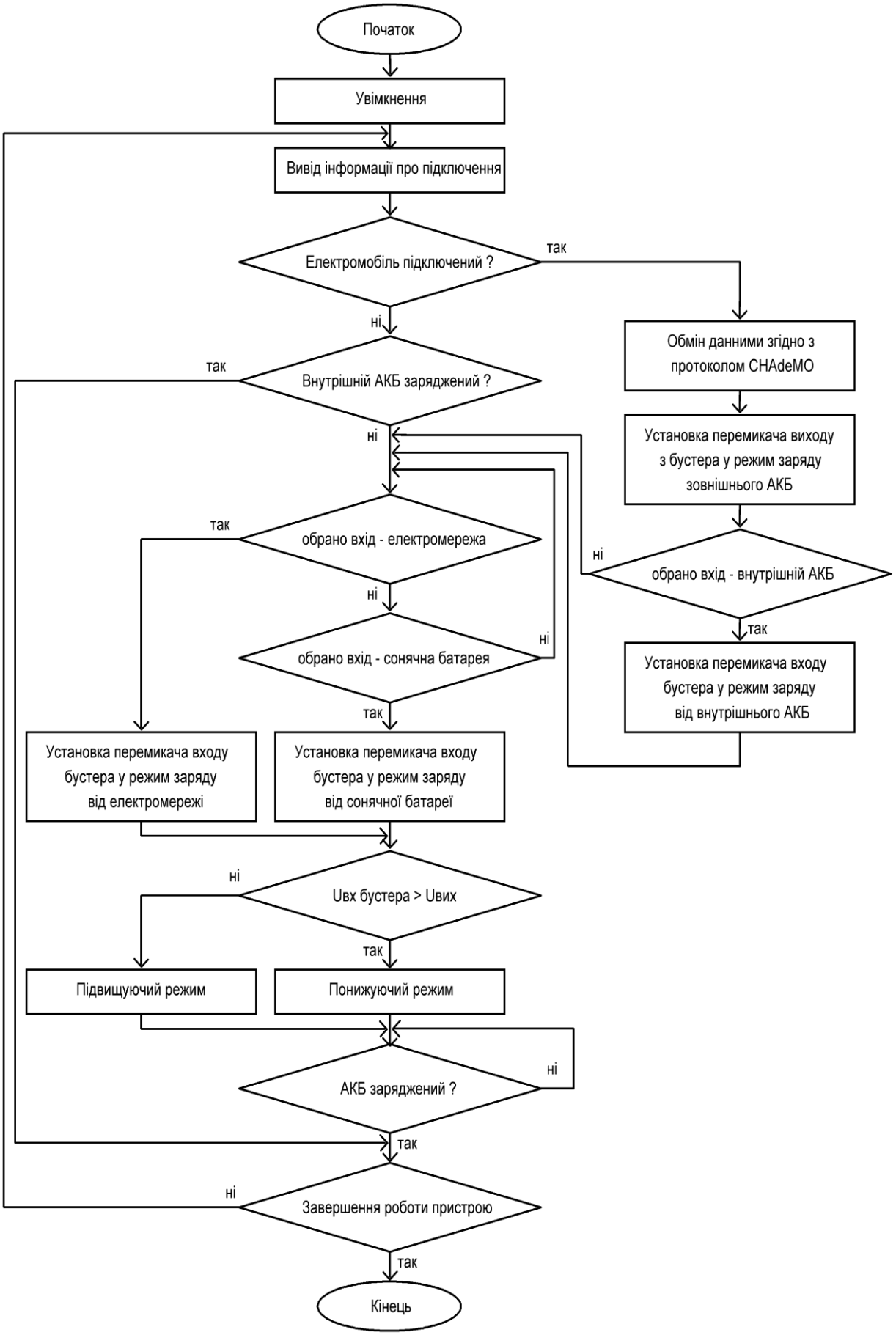

Рисунок 25 – Алгоритм функціонування пристрою

Потім виконується перевірка наявності підключеного електромобіля.

При підключенні електромобіля пристрій починає обмін даними з електромобілем. Згідно отриманих даних, бортовий комп'ютер електромобіля розраховує термін заряду і відсилає сигнал тестового запуску.

За допомогою клавіатури та дисплея, обирається один із трьох джерел напруги (електромережа, внутрішній АКБ, або сонячна батарея). Потім відбувається порівняння напруг на вході і виході імпульсного перетворювача, згідно вибраного режиму роботи системи.

Відповідно, якщо напруга входу більша ніж на виході, обирається перший з них, і навпаки. Перетворювач видає задані параметри струму та напруги.

На стадії заряду постійно виконується контроль показників напруги і данних від електромобіля. За цими показниками програма МК вирішує коли слід продовжити зарядку батареї, та коли її завершити. При наявності неполадок, заряд може бути перервано.

На останньому етапі пристрій пропонує завершити роботу. Інформація про стан виконаної операції, виводиться а дисплей. Якщо електромобіль відключений від зарядного пристрою, то система перевіряє рівень заряду внутрішньої АКБ і при необхідності її підзаряджає. При цьому на дисплеї відображається джерело живлення (електромережа, або сонячна батарея) від якого заряджається внутрішня АКБ.

3.2 Розробка структурної схеми пристрою

У своєму складі структурна схема (рис. 26) має три основних блока. Це мікроконтролер, силовий блок та блок перемикання.

Після вмикання пристрою мікроконтролер (МК) виконує опитування джерел живлення з метою визначення їх стану та передає команди до блоку перемикання 1 (БП1) на почергове приєднання їх до імпульсного перетворювача. Мікроконтролер отримує також інформацію про величину напруги на вході імпульсного перетворювача та стан АКБ електромобіля. При відсутності такої

інформації, підключення не відбудеться і пристрій переходить до заряду внутрішньої акумуляторної батареї.

Отримана інформація, через блок установки режимів та UART-CAN конвертор, відображається оператору. Імпульсний перетворювач виконує регулювання струму і напруги заряда акумуляторів електромобіля. Управління ключами перетворювача відбувається мікроконтролером через драйвери. Обидва блоки перемикання забезпечують необхідний режим роботи зарядного пристрою.

Блок перемикання 1 має 4 стани :

− підключена до імпульсного перетворювача внутрішня АКБ пристрою;

− підключено мережу;

− підключено сонячну батарею;

− нічого не підключено.

У вимкненому стані команд від МК не подається, і відповідно вхід конвертора залишається не підключеним. А через блок перемикання 2, в цьому випадку, вихід імпульсного перетворювача буде підключено до внутрішньої АКБ.

За отриманими показниками, оператор вибирає джерело напруги заряда і підвереджує початок заряду .

Після отримання команди «Старт» МК видає команду БП 1 та 2 , і порівнює значення напруги на вході і виході імпульсного перетворювача. З перетворювача сигнал пропорційний значенню напруги, передається до МК, де він конвертується у цифровий. Цифрові показники напруги відображаються користувачу за допомогою блоку установки режимів.

Потім відбувається обмін між МК і електромобілем (за наявності його підключення) через UART-CAN конвертор. **Конвертор** MCP2551-I/ P, це високошвидкісний CAN-трансивер. Він виконує функцію інтерфейса між контролером CAN-протоколу і фізичної шиною.

Цей пристрій підтримує роздільний диференційний прийом і передачу для CAN-контролера. У результаті зарядний пристрій отримує інформацію про стан АКБ електромобіля. Блок перемикання 2 відповідає за вибір, який із АКБ заряджати : внутрішній зарядного пристрою чи зовнішній електромобіля.

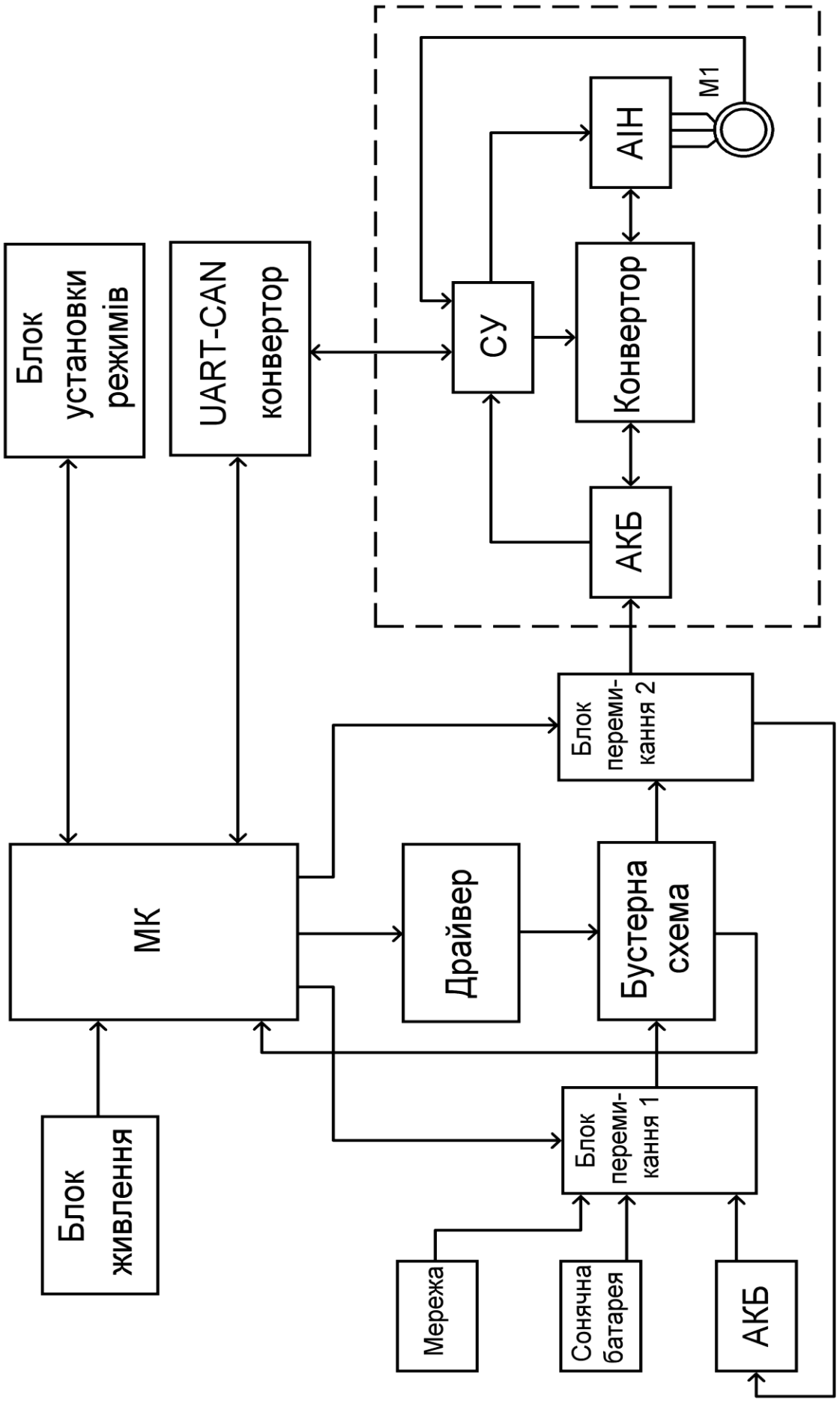

Рисунок 26 – Структурна схема зарядного пристрою

Якщо напруга на вході імпульсного перетворювача більше ніж на виході, вмикається понижувальний режим, у іншому випадку підвищувальний.

Наступний етап це власне заряд АКБ. Під час заряду МК постійно контролює напругу батареї і струм на виході імпульсного перетворювача. Після завершення заряду АКБ, зупиняється генерація сигналу ШІМ модулятораі блок установки режимів видає повідомлення “заряд завершено”.

Заряд буде припинено, коли батарея отримала максимальну ємність, або за командою оператора, чи у випадку аварії. Після цього оператору буде запропоновано вимкнути пристрій, або продовжити роботу.

4 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ

4.1 Вибір елементної бази

Ключі імпульсного перетворювача напруги реалізовані на **IGBT транзисторах** Infineon FZ400R12KE3B1.

IGBT транзистори здатні від невеликого вхідного сигналу керувати значним струмом у вихідному ланцюзі, що дозволяє використовувати його для посилення, генерування, комутації та перетворення електричних сигналів.

IGBT-транзистор (скорочення від англомовного Insulated-gate bipolar transistor) або біполярний транзистор з ізольованим затвором (скорочено БТІЗ) - являє собою напівпровідниковий прилад з трьома виводами, що поєднує всередині одного корпусу силовий біполярний транзистор і керуючий.

Вони є на сьогоднішній день основними компонентами силової електроніки (потужні інвертори, імпульсні блоки живлення, частотні перетворювачі тощо), де вони виконують функцію потужних електронних ключів, що комутують струми на частотах вимірюваних десятками та сотнями кілогерців. Транзистори даного типу випускаються як у вигляді окремих компонентів, так і у вигляді спеціалізованих силових модулів (складання) для управління трифазними ланцюгами.

Те що IGBT-транзистор включає транзистори відразу двох типів (включених за каскадною схемою), дозволяє об'єднати переваги двох технологій всередині одного напівпровідникового приладу (рис. 27).

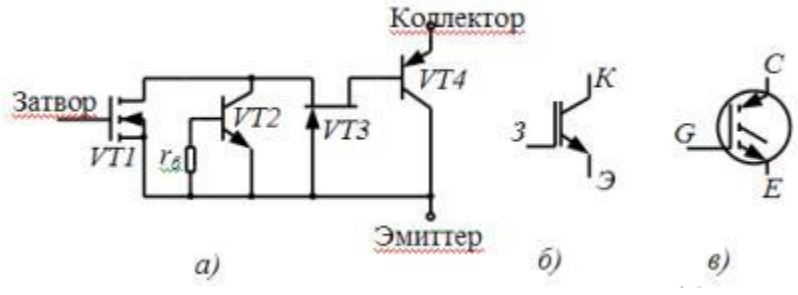

Рисунок 27 - Еквівалентна схема IGBT-транзистора (а) і його умовне позначення у вітчизняній (б) та іноземній (в) літературі

Біполярний транзистор як силовий, дозволяє отримати більшу робочу напругу, при цьому опір каналу у відкритому стані виявляється пропорційно струму першого ступеня, а не квадрату струму як у звичайних польових транзисторів. А як керуючий транзистор використовується саме польовий транзистор — зводить витрати потужності на управління ключем до мінімуму.

Назви електродів характеризують структуру IGBT-транзистора: керуючий електрод називається затвором (як у польового транзистора), а електроди силового каналу - колектором та емітером (як у транзистора біполярного).

У порівнянні зі звичайними польовими транзисторами, IGBT-транзистори мають більш високий вхідний опір і нижчий рівень потужності, яка витрачається на управління затвором.

На відміну від біполярних транзисторів, тут нижча залишкова напруга у включеному стані. Втрати у відкритому стані, навіть при великих робочих напругах та струмах, досить малі. У цьому провідність як і біполярного транзистора, а управляється ключ напругою.

Діапазон робочих напруг колектор-емітер у більшості широко доступних моделей варіюється від десятків вольт до 1200 і більше вольт, при цьому струми можуть сягати 1000 і більше ампер. Є зборки на сотні та тисячі вольт за напругою та на струми в сотні ампер.

Діаграма динамічної роботи IGBT транзистора та графік зміни падіння напруги Uке і струму Ic IGBT-транзистора, наведені на рис. 28, 29, відповідно.

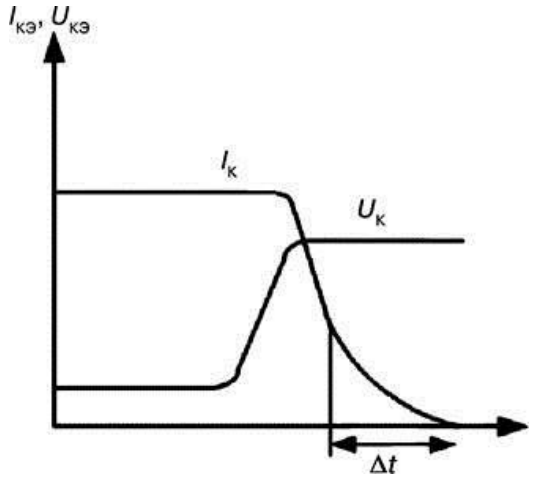

Рисунок 28 – Часова діаграма роботи транзистора

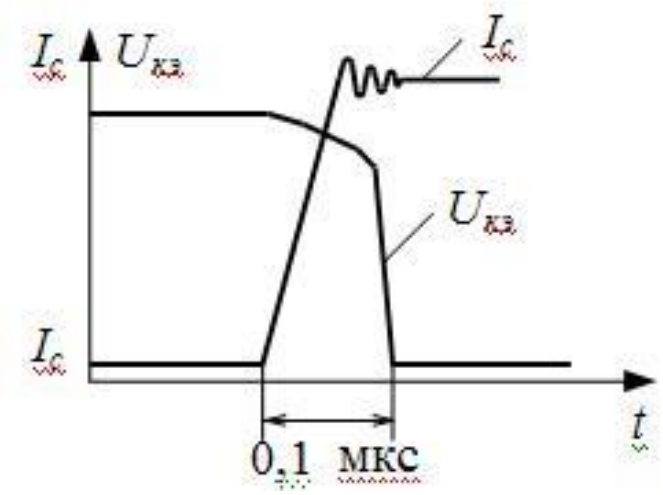

Рисунок 29 – Динамічний режим роботи IGBT-транзистора

Характеристика транзистора Infineon FZ400R12KE3B1, приведена в табл.2.

Таблиця 2 – Характеристика транзистора Infineon FZ400R12KE3B1

Категорія продукту:	Параметри IGBT
Виробник:	Infineon
конфігурація:	Single
Напруга колектор-емітер (VCEO), макс.:	1200 V
Напруга насичення колектор-емітер:	1,25 V
Максимальна напруга затвор-емітер:	±20V
Безперервний колекторний струм при 25 ° C:	650 A
Струм витоку затвор-емітер:	400 nA
Pd - розсіювання потужності:	2250 W
Вид монтажу:	Panel Mount
Упаковка / блок:	62MM Module
Максимальна робоча температура:	+125 °C
Мінімальна робоча температура:	-40 °C
Швидкість перемикання	1MHz
Серія:	FZ400R12KE3B1

Випрямляч струму пристрою реалізований на **діодах Шотткі** типу Semikron SKN 501/12. На відміну від звичайних діодів у діодах Шотткі використовується перехід метал-напівпровідник, який ще називають бар'єром Шотткі. Цей бар'єр, так само, як і напівпровідниковий p-n перехід, має властивість односторонньої електропровідності та більшої швидкості перемикання.

Для виготовлення діодів Шоттки, переважно використовується кремній (Si) і арсенід галію (GaAs), а також такі метали як золото, срібло, платина, паладій і вольфрам.

Позначення діод Шотткі на принципових схемах (рис.30).

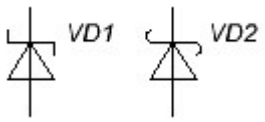

Рисунок 30 – Позначення діодів Шотткі

До позитивних якостей діодів Шотткі крім високої швидкодії, можна віднести малу ємність переходу (бар'єру), що дозволяє підвищити робочу частоту до сотні кілогерц. Діоди Шотткі входять до складу інтегральних схем, де вони шунтують переходи транзисторів для підвищення швидкодії.

Характеристики діода Semikron SKN 501/12, приведена у табл. 3.

Таблиця 3 – Характеристики діода Semikron SKN 501/12

Категорія продукту:	Діод Шотткі
Виробник:	Semikron
Конфігурація:	Single
Максимальна зворотна напруга:	1200 V
Напруга насичення:	1.65 V
Максимальний Постійний прямий струм	500 A
Пік імульсного струму:	7000 A
Вид монтажу:	Screw Mount
Упаковка / блок:	E 18
Максимальна робоча температура:	+180 °C
Мінімальна робоча температура:	-40 °C
Серія:	SKN 501/12

Перевагою діодів Шотткі є: мале пряме падіння напруги (0,2 - 0,4В) на переході і висока швидкодія.

Мале падіння напруги проявляється при напрузі не більше 50-60В. При її підвищенні, діод Шотткі поводиться як звичайний кремнієвий випрямний діод. Максимальна зворотна напруга для Шотткі, не перевищує 250В, хоча є і більше.

Конденсатор високовольтний.

Для згладжування напруги імпульсного перетворювача напруги, використаний високовольтний конденсатор К75-40б -750В-100мкФ.

Високовольтні комбіновані конденсатори, призначені для роботи в імпульсних пристроях. Характеризуються малим внутрішнім опором, що дозволяє заряджати їх від малопотужного джерела і швидко розряджати.

Застосовуються у лазерній техніці, електроінструменті, зварювальному обладнанні, електротранспорті та інших пристроях. Характеристики конденсатора К75-40б -750В-100мкФ, приведені у табл. 4.

Таблиця 4– Характеристики конденсатора К75-40б 750В 100мкФ

Категорія продукту:	Конденсатор
Виробник	Promelectrica
Максимальна напруга	750 ….5000 В
Номінальна ємність	100 мкФ
Допустимі відхилення ємності	±10 %
Максимальна робоча температура	+70 °С
Мінімальна робоча температура	-60 °С
Серія	К75-40Б

Драйвер IGBT транзисторів L6385E.

Мікросхема L6385E містить два незалежних драйвера верхнього (вихід HVG) і нижнього плеча (вихід LVG). Потужні польові MOSFET-транзистори і біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT-транзистори), використовуються в якості елементів комутації великих струмів і напруг.

Однак для узгодження низького рівня логічних перепадів керуючих сигналів з рівнями управління затвора MOSFET- і IGBT-транзисторів, потрібні проміжні пристрої узгодження - високовольтні драйвери. Для забезпечення такого управління використовується наступна класифікація високовольтних драйверів:

- незалежні драйвери верхнього і драйвери нижнього плеча напівмоста, інтегровані в одній мікросхемі (High and Low Side Driver);

- драйвери верхнього і драйвери нижнього плеча, які включені за схемою напівмоста (Half-Bridge Driver).

Драйвери верхнього плеча (High Side Driver).

Драйвери нижнього плеча (Low Side Driver).

В сучасних драйверах, бустерний діод розташований у корпусі інтегральної схеми, тому відпадає необхідність у застосуванні зовнішнього діода.

Таблиця 5– Характеристики драйвера STMicroelectronics L6385E

Категорія продукту:	Драйвери для управління затвором
Виробник:	STMicroelectronics
Вид монтажу:	Through Hole
Упаковка / блок:	DIP-8
Продукт:	Half-Bridge Drivers
Кількість драйверів:	2
Час наростання:	50 ns
Час спаду:	30 ns
Напруга живлення - макс.:	17 V
Напруга живлення - мін.:	- 0.3 V
Робочий струм джерела живлення:	250 uA
Мінімальна робоча температура:	- 45 C
Максимальна робоча температура:	+ 125 C
Тип:	High Voltage High and Low Side Driver

Продовження таблиці 5

серія:	L6385E
Тип логіки:	CMOS, TTL
Максимальний час затримки вимкнення:	105 ns
Максимальний час затримки включення:	110 ns
Кількість виходів:	2
Час відключення - макс.:	105 ns
Робоча напруга живлення:	15 V
Вихідна напруга:	600 V
Швидкість перемикання	400KHz
Pd - розсіювання потужності:	750 mW

Структура і схема включення драйвера L6385E наведена на рис. 31.

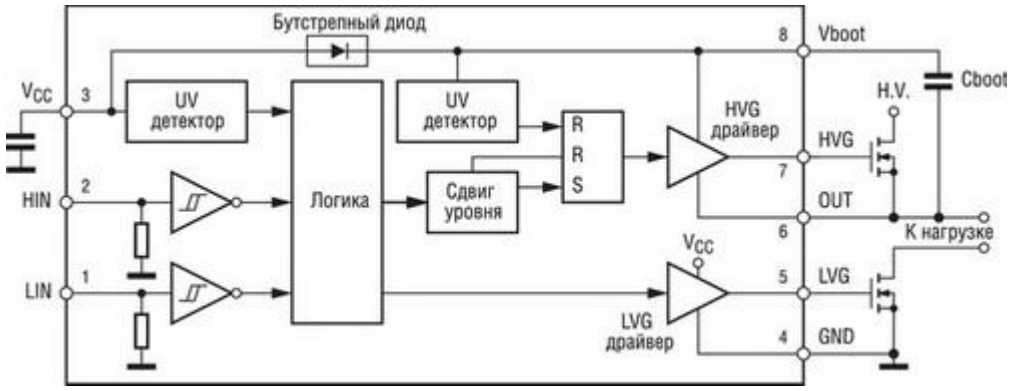

Рисунок 31 – Структура і схема включення драйвера L6385E

Конвертор UART-CAN.

MCP2551-I / P (рис. 32) це високошвидкісний CAN-трансивер від компанії Microchip. Трансивер служить в якості інтерфейсу між контролером CAN-протоколу і фізичної шиною. Цей пристрій підтримує роздільний диференційний прийом і передачу для CAN-контролера, і повністю відповідає стандартові ISO-11898, включаючи всі вимоги по напрузі 24V:

– забезпечений скиданням за включенням живлення;

– малий струм у відключеному режимі;
– входи на лінії живлення мають захист від короткого замикання;
– захист від перехідних процесів;
– можливо підключити до 112 вузлів мережі;
– висока стійкість до перешкод і шумів;

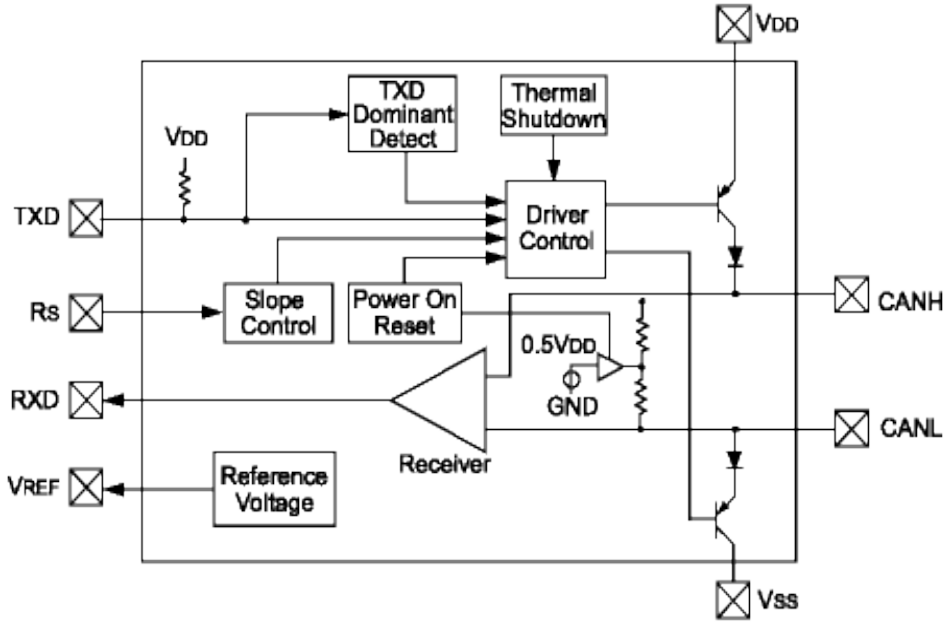

Рисунок 32 – Блок схема MCP2551

Таблиця 6 – Характеристики конвертора MCP2551

Категорія продукту:	CAN-трансивер
Виробник:	Microchip
Максимальна напруга.:	24V
Напруга живлення:	12V
Максимальний струм:	75mA
Вид монтажу:	Through Hole
Упаковка / блок:	DIP-8
Максимальна робоча температура:	+85°C
Мінімальна робоча температура:	-40 °C
Діапазон даних	1Mbps
Серія:	MCP2551

– виявлення помилки при передачі даних;
– скидання MCP2551 не впливає на поточний обмін даними на шині CAN;
– захист від короткочасного підключення до ланцюгів живлення.

Дросель TP4A-EE70/33/32.

Таблиця 7 – Ефективні параметри осердя дроселя TP4A-EE70/33/32

Категорія продукту:	Феритове осердя
Виробник:	Cosmoferrites
Основной фактор ∑ (l/A) :	0,218 мм-1
Обсяг комплектуV$_e$:	102000 мм3
Довжина магнітної силової лінії l$_e$:	149 мм
Ефективний переріз A$_e$:	683 мм2
Мінімальний переріз A$_{min}$:	676 мм2
Маса комплекту:	530 г
Температурний опір R$_{th}$:	5,5 °К/Вт
Серія:	TP4A-EE70/33/32
Ефективна проникність:	2400 НМ

Стабілізатор напруги.

Для забезпечення живлення елементів схеми, обираємо стабілізатор L7805CV. Інтегральний стабілізатор L7805 CV – з напругою + 5В. Випускається фірмою STMircoelectronics, виконаний у корпусі ТО – 220. У серії 78хх останні дві цифри позначають номінал стабілізованої напруги, наприклад: 7805 - стабілізація на 5 В; 7812 - стабілізація на 12 В; 7815 - стабілізація на 15 В і т.д. Використовується для стабілізації напруги в різних низьковольтних схемах.

Схема вмикання стабілізатора L7805CV наведена на рис. 33.

Для роботи стабілізатора необхідно під’єднати конденсатори по входу 0,33 мкФ, і по виходу 0,1 мкФ. Конденсатори бажано розташувати максимально близько до виводів мікросхеми. Це необхідно для забезпечення максимального рівеня стабілізації і зменшення перешкод. Стабілізатор L7805CV працездатний

при вхідній постійній напрузі у межах від 7,5 до 25 В. На виході стабілізатор забезпечує постійну стабільну напругу +5В. Вітчизняний аналог стабілізатора L7805CV є КР142ЕН5А.

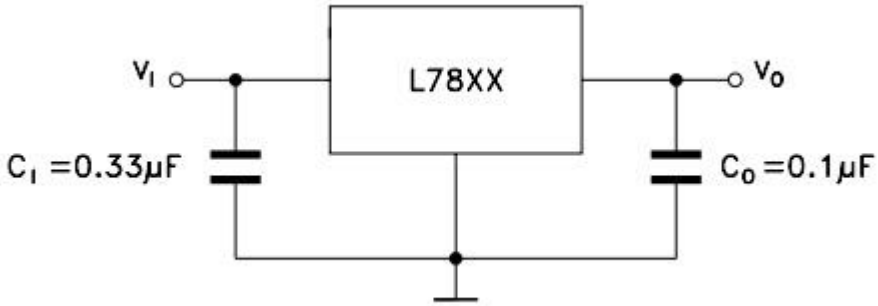

Рисунок 33 – Схема підключення стабілізатора L7805CV

Таблиця 8 – Характеристики стабілізатора STM- L7805CV

Виробник	STMicroelectronics
Номенклатурний номер виробника	L7805CV
Короткий опис	IC REGULATOR POS 5V TO-220
Категорія	Інтегральні схеми (IC)
Сімейство	PMIC — регулятори напруги
Напруга вихідна	+5V
Напруга вхідна	До +36V
Кількість регуляторів	1
Вихідний струм	1.5A
Робоча температура	0°C ~ 125°C
Монтажный тип	Наскрізний отвір
Корпус	TO - 220AB

Фільтр кварцовий.

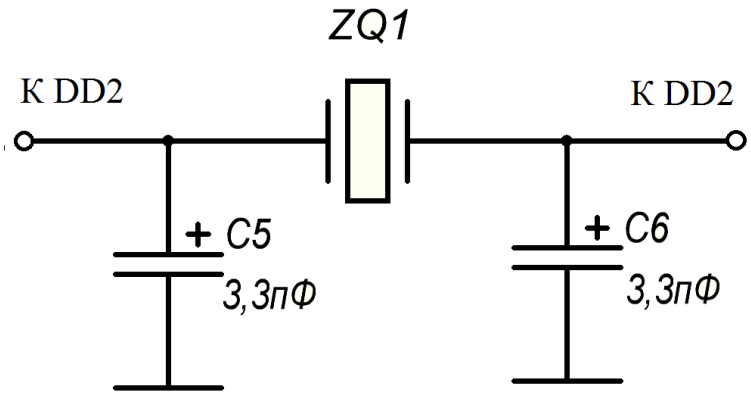

Рисунок 34 – Схема підключення кварцового фільтра

Таблиця 9 – Характеристики фільтра кварцового HC-49S-SMD 16.0 МГц

Категорія продукту:	Фільтр кварцевий
Виробник:	TKD
Розмір:	12 x 5 x 4,3 мм
Частота:	16,0 МГц
Допуск по частоті:	±10~±50ppm
Ємність навантаження:	12 пФ~∞
Стабільність частоти:	±30 / ±50ppm
Робоча температура:	-20 +70°C
Температура зберігання:	-40 +85°C
Шунтуюча ємність:	7 пФ макс.
Рівень управління:	100 мкВт макс.
Корпус:	HC-49S
Монтаж:	поверхневий
Старіння в рік (при 25 ° C)	5%

Живлення АЦП.

АЦП мікроконтролера потребує окремого живлення напругою +5В. Від стабільності цієї напруги залежить точність показань АЦП. Мікросхеми TL431 и TL431A (рис. 35) - це змінні регулятори напруги із заданою напругою стабілізації. Вони широко використовуються у багатьох електронних пристроях.

Вихідна напруга регулюється у діапазоні 2,5…36В за допомогою двох зовнішніх резисторів. Схема активного виходу з дуже крутою характеристикою роблять ці чіпи чудовою заміною стабілітронам.

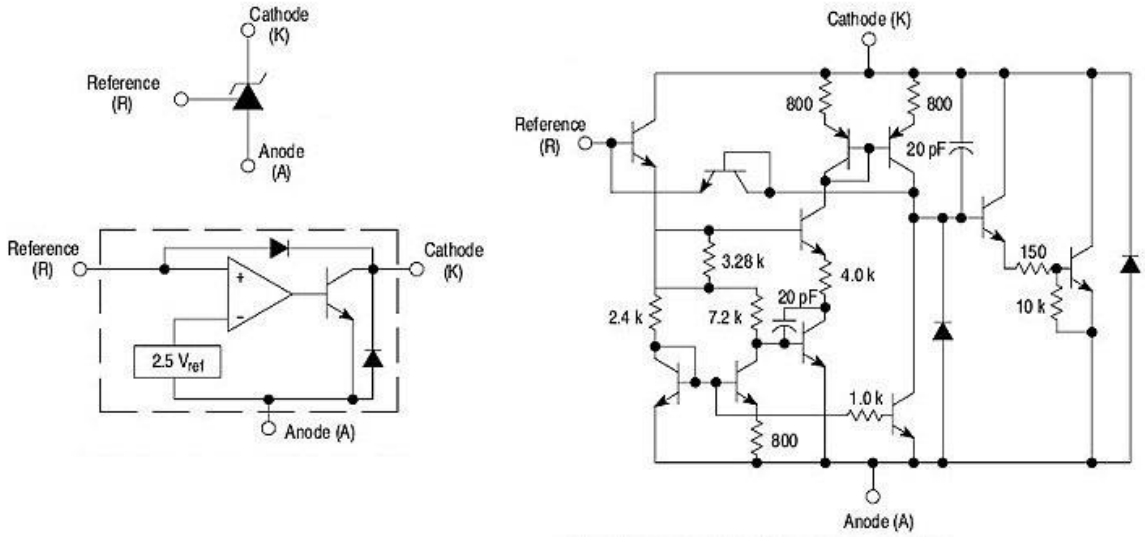

Рисунок 35 – Схема регулятора напруги - TL431A

Таблиця 10 – Характеристики регулятора TL431A

Категорія продукту:	Регульований стабілізатор
Мінімальна напруга:	2,5В
Максимальна напруга:	36В
Максимальний струм:	100мА
Ємність навантаження:	12 пФ~∞
Робоча температура:	-40 +85°C
Температура зберігання:	-40 +85°C
Серія:	TL431A

Дисплей.

У якості індикатора і клавіатури, вибрано модуль Z - LCD I2C Keypad Shield.

Алфавітно-цифрові ЖК- модулі, забезпечують відображення великого обсягу інформації хорошої якості з низьким енергоспоживанням.

Завдяки вдалому підсвічуванню дозволяє експлуатувати їх в умовах зі зниженою або нульовою освітленістю.

Контролер HD44780 може керувати 2-мя рядками по 40 символів у кожному при матриці символу 5 х 7 точок. Він підтримує символи з матрицею 5 х 10 точок, але в останні роки ЖК-модулі з такою матрицею майже не зустрічаються, тому можна вважати, що фактично бувають тільки символи 5 х 7 точок.

Таблиця 11 – Характеристики модуля Z- LCD I2C Keypad Shield

Дисплей:	Символьний 16х02 (HD44780)
Підсвічування:	Синій з білими символами
Контраст:	налаштування потенціометром
Кнопки:	6 шт (5 зчитувальних і 1перезавантаження)
Напруга живлення:	5 В
Інтерфейс:	I2C
I2C адреса:	0х2
Струм:	100мА

Конвертор рівня.

Оскільки на виходи МК можна подати напругу не більше 5В для вмикання високовольтних ключів, котрі використовуються у БП1 та БП2, використовуються польові транзистори **КП959А** з параметрами наведеними у табл. 12. Транзистор n-типу зі статичною індукцією КП959А, кремнієвий ключ епітаксійно-планарної структури з вертикальним каналом n-типу.

Таблиця 12 – характеристики транзистора КП959А

Категорія продукту:	Транзистор польовий
Виробник:	Эльтав
Упаковка / блок:	ТО-126
Найменування:	КП959А
Мінімальна робоча температура:	- 45^0 С
Максимальна робоча температура:	+ 125^0 С
Максимальна напруга стоку:	300В
Максимальний прямий струм	200мА
Максимальна напруга затвору	5В

Мікроконтролер. Для управління роботою пристрою, був використаний малопотужний 8-разрядний КМОП мікроконтролер ATmega128. За рахунок виконання більшості інструкцій за один машинний цикл ATmega128 досягає продуктивності 1 млн. операцій в секунду / МГц. Часова діаграма роботи ШІМ, наведені на рис. 36. ATmega128 містить такі елементи:

- 128 кбайт програмованої флеш-пам'яті з підтримкою читання під час запису;

- 4 кбайт ЕСППЗУ;

- 4 кбайт статичного ОЗУ;

- 53 лінії універсального введення − виведення;

- 32 універсальних робочих регістра;

- лічильник реального часу (RTC);

- чотири гнучкі таймер −лічильника з режимами порівняння і ШІМ;

- 2 УСАПП, двохпровідний послідовний інтерфейс орієнтований на передачу байт, 8-канальний 10-разр.

ATmega128 Містить 10-разр. АЦП послідовного наближення. Він пов'язаний з 8-канальним аналоговим мультиплексором, 8 однополярних входів якого, пов'язані з лініями порту F.

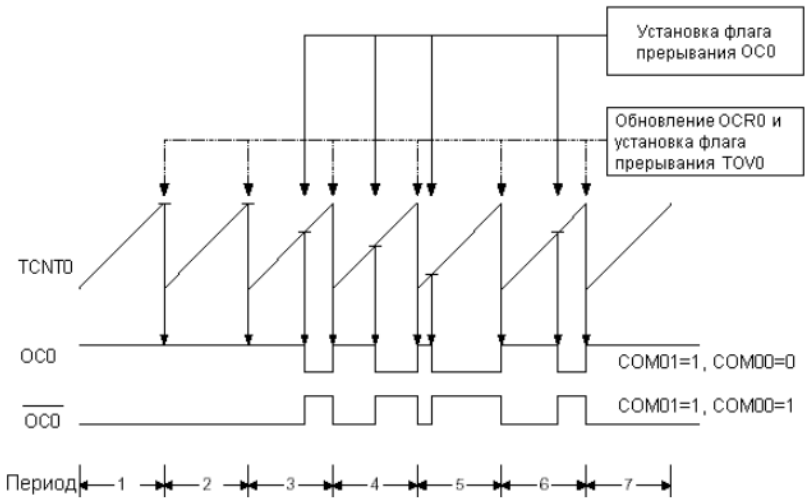

Рисунок 36 – Часова діаграма роботи ШІМ

ATmega128 Містить 10-разр. АЦП послідовного наближення. Він пов'язаний з 8-канальним аналоговим мультиплексором, 8 однополярних входів якого, пов'язані з лініями порту F.

АЦП містить ПВЗ (пристрій вибірки-зберігання), який підтримує на постійному рівні напругу на вході АЦП під час перетворення. Функціональна схема АЦП показана на рис. 37.

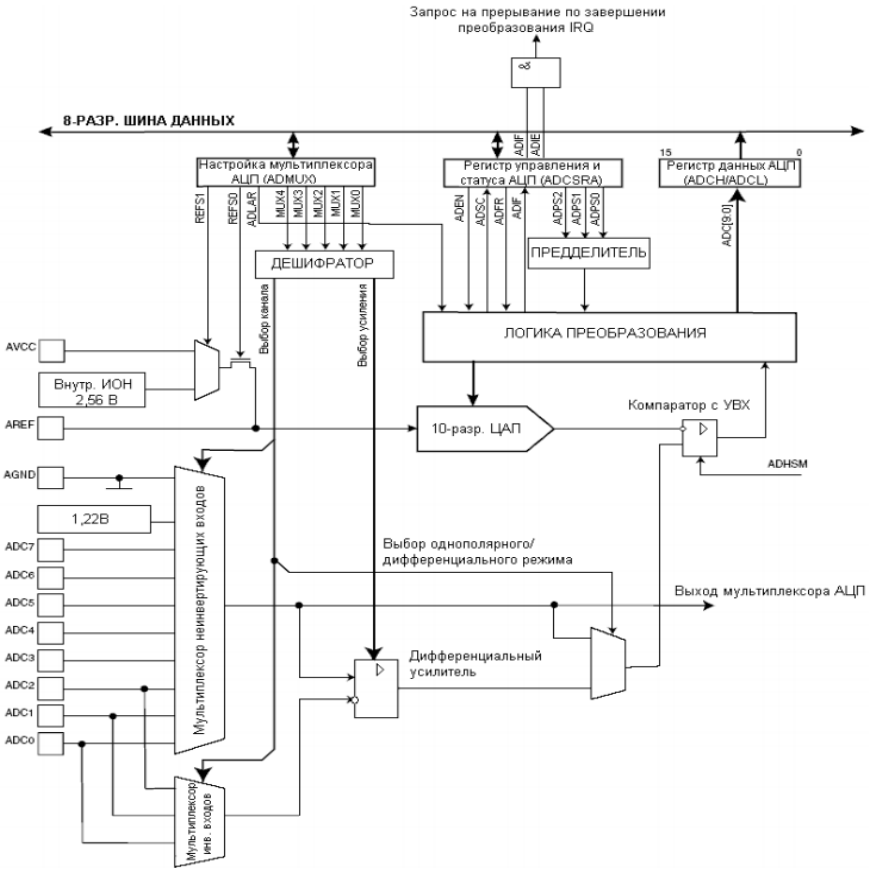

Рисунок 37 – Функціональна схема АЦП

Таблиця 13 – Опис виходів МК

№Виходу	Назва вих.	Функція
2	PE0	Шина UART ,RXD. До конвертра в CAN
3	PE1	Шина UART ,TXD. До конвертра в CAN
10-12	PB0-PB2	Команди до блоку перемикання 1
13	PB3	Команди до блоку перемикання 2
14-16	PB4-PB6	Обмін сигналами (командами) з електромобілем
21	VCC	Живлення мікроконтролера 5В
22,52,63	GND	Загальний
23,24	XTAL	Виходи тактового генератора
25	PD0	Шина I2C,SCL. Зв'язок з дисплеем
26	PD1	I2C,SDA. Зв'язок з дисплеем
50	PA1	Управління транзистором VT2
51	PA0	Управління транзистором VT1
54	PF0	Значення напруги на вході бустера
55	PF1	Значення напруги на виоді бустера
56	PF2	Значення струму на виході бустера
62	AREF	Живлення АЦП

4.2 Розрахунок основних вузлів і блоків принципової схеми

Розрахунок дроселя конвертора.

Визначимо максимальний піковий струм через котушку:

$$Imax = Iout *(1+L_{IR}/2)* Vout / Vin .$$

де L_{IR} – амплітуда пульсацій у котушці, Vin – вхідна напруга, Vout , вихідна напруга, Iout , вихідний струм.

$$Imax =125*(1+1/2)*500/300= 312,5A.$$

Визначимо індуктивність котушки:

$$L = \frac{1}{f * LIR} * \frac{\text{Vout}}{\text{Iout}} * \left(\frac{\text{Vin}}{\text{Vout}}\right)^2 * \left(1 - \frac{\text{Vin}}{\text{Vout}}\right),$$

де f- частота.

$$L = \frac{1}{200 * 10^3 * 1} * \frac{500}{125} * \left(\frac{300}{500}\right)^2 * \left(1 - \frac{300}{500}\right) = 2{,}88\text{мкГн}.$$

Визначимо кількість витків дроселя (N) :

$$N = 1000 * L * \text{Imax}/(\text{S} * \text{B}),$$

де S - ефективний переріз магнітопроводу (мм2), В – максимально допустима індукція (Тл).

$$N = 1000 * 2{,}88 * 10^{-3} * 315{,}5/(683 * 0{,}08) \approx 16.$$

Максимальний перетин джгуту дротів S = 42 мм2, а максимальна щільність струму 7,5 А/мм2.

Розрахунок вхідного та вихідного конденсаторів.

Знаходимо величину коливань заряду на вхідному конденсаторі:

$$\Delta Qin = 0{,}125 * LIR * Iout * \frac{Vout}{Vin * f},$$

$$\Delta Qin = 0{,}125 * 1 * 125 * \frac{500}{300 * 200 * 10^3} = 0.13 * 10^{-3}.$$

Задавши певний рівень вхідних пульсацій (Vp-p_in) знаходимо ємність вхідного конденсатора:

$$\text{C}in = \frac{\Delta Qin}{Vpp_{in}} = \frac{0{,}13 * 10^{-3}}{0{,}6} \approx 200\text{мкФ}.$$

Знаходимо величину коливань заряду на вихідному конденсаторі:

$$\Delta Qout = Iout * \frac{2 - \frac{Vin}{Vout}}{f},$$

$$\Delta Qout = 125 * \frac{2 - \frac{300}{500}}{200 * 10^3} = 0{,}875 * 10^{-3}.$$

Знаходимо ємність вихідного конденсатора:

$$Cout = \frac{\Delta Qout}{Vpp_{out}} = \frac{0{,}875 * 10^{-3}}{4} \approx 200\text{мкФ}.$$

Розрахунок живлення АЦП.

Для нормальної роботи стабілітрона знадобляться:

- гасящій резистор R1 (див. схема ел. принципова);
- дільник на резисторах R2, R3;
- конденсатор C2 для придушення високочастотних пульсацій;

Розрахуємо максимальне значення резистора R1:

$$R1 = \frac{V_{in} - V_{out}}{I_{KA}}.$$

Для розрахунку максимального значення резистора підставимо мінімальний прямий струм (I_{KA}) і мінімальну вхідну напругу в результаті отримуємо:

$$R1 = \frac{7.5 - 5}{1mA} = 2{,}5 \text{ кОм}.$$

Також необхідно врахувати опір резисторів R2, R3, тому зменшуємо значення R1 до 1кОм.

Значення R2 візьмемо рівним 10кОм (як рекомендовано виробником [9]). Далі розрахуємо значення R3:

$$R3 = \frac{2.5 * R2}{V_{out} - 2.5 + I_{ref} * R2},$$

де I_{ref}- опорний струм рівний 2мкА. Підставляємо значення в формулу

$$R3 = \frac{2.5 * 10 * 10^3}{5 - 2.5 + 2 * 10^{-6} * 10 * 10^3} = 9920 \text{ Ом}.$$

Беремо найближче значення в 10кОм.

Розрахунок вхідного та вихідного дільника.

$$\frac{Vout}{2.5} = \frac{R5}{R6} = \frac{R7}{R8} = 200.$$

Оберемо значення для R6 та R8 рівним 1кОм, тоді:

$$R5 = R7 = 200\text{кОм}.$$

Значення опору резистора заміру струму :

$$R9 = \frac{0.2}{Iout} = 0.0016\text{Ом},$$

його потужність: $Iout * V = 125 * 0.2 = 25\text{Вт}$.

5 ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок повної собівартості пристрою

Для розрахунку собівартості одиниці продукції, яка виготовляється, застосовується класифікація затрат за калькуляційними статтями витрат:

У кваліфікаційній роботі статті калькуляції:

− сировина і матеріали, покупні комплектуючі та напівполуфабрикати;

− повернуті відходи (віднімаються);

− топливо та енергія на технологічні цілі;

− основна заробітна плата виробників;

− додаткова заробітна плата виробників;

− відрахування на соціальне страхування;

− витрати на утримання та експлуатацію обладнання;

− загальновиробничі витрати;

− адміністративні витрати;

− витрати на збут.

Така групіровка витрат дозволяє визначити собівартість виробу, а в подальшому і рівень ціни.

Матеріали та комплектуючі.

Початковими даними для складання калькуляції собівартості на проектований пристрій є стаття калькуляції на покупні та комлектуючі вироби.

Дані за цією статтею наведені у таблицях 14, 15.

Таблиця 14 – Вартість покупних та комплектуючих виробів

Назва	Ціна одиниці, грн.	Кількість, шт	Сума, грн
Мікросхеми			
TL-431A	5	1	3
L6885E	20	1	20
ATMega 128	250	1	250
MCP2551	21	1	21

Продовження таблиці 14

Індикатори			
Z-LCD I2C Keypad Shield	170	1	170
Конденсатори			
К50-29 10мкФ 25В ±10%	5,5	4	22
К1-1 3,3пФ И±10%	2,5	2	5
К1-1 1мкФ И±10%	3	1	3
К75-40 750В 100мкФ±10%	130.5	4	522
Резистори			
МЛТ-0,125-1кОм ±5%	1,2	5	6
МЛТ-0,125-10кОм ±5%	1,2	2	2,4
МЛТ-1-200кОм ±5%	3,8	2	7,6
Діоди			
SKN 501/12 500A 1200V	99	2	198
LM-7805CV	15	1	15
Транзистори			
FZ400R12KE3B1	203	2	406
КП959А	6	6	36
Фільтр кварцевий			
HC-49S 16.0МГц	3,1	1	3,1
Індуктивність			
ТР4А-ЕЕ70/33/32 2,88мкГн	103,7	1	103,7
Всього, грн			**1793,8**

Таблиця 15 – Витраты на материали

Матеріал	Марка або стандарт	Один. виміру	Норма росходу	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Стеклотек-століт	СФ-2-35 ГОСТ 10816-88	кг	0,5	70	35
Припой	ПОС-61 ГОСТ 21931-86	кг	0,2	100	20
Каніфоль	ГОСТ 14256-69	кг	0,6	110	66
Лак	УР-231.023	кг	0,5	27	13,5

Продовження таблиці 15

Клей	ТУ-6-10-863-76	кг	0,1	51	5,1
Всього, грн					**139,6**

За даними таблиць 13, 14 визначимо загальну суму комплектуючих виробів:

$$\Sigma К = 1933,4 \text{ грн.}$$

Витрати на основну заробітну плату (Зо).

$$Зо = ТС*Ч*n,$$

де ТС – тарифна ставка робітника, який задіяний у виробництві пристрою грн./год;

Ч – затрачений час робітником на виготовлення та наладку пристрою;

n – кількість робітників які задіяні у виробництві.

$$Зо = ТС*Ч*n = 15*130*2 = 3900 \text{ грн.}$$

Основна заробітна плата робітників поєднує тарифну заробітну плату, доплати і надбавки.

Додаткова заробітна плата робітників визначається у розмірі 10-30% від основної заробітної плати:

$$Зд = 3900*Кд / 100,$$

де Кд – процент додаткової заробітної плати.

$$Зд = Зо*Кд / 100 = 3900*0,3 = 1170 \text{ грн.}$$

Нарахування на соціальні потреби, згідно діючого законодавства, складає 36,3% від суми основної і додаткової заробітної плати:

Всз = (Зо + Зд)*36,3/100 = (3900+ 1170) 36,3 / 100 = 1840,4 грн.

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування складають 120-150% від основної заробітної плати:

Р сэо = Зо*1,4 = 1840*1,4 = 2576 грн.

Загально виробничі витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 130-250 % від основної заробітної плати.

ПР = Зо*2,2 = 3900*1,8 = 7020 грн.

Виробнича собівартість визначається як сума статей витрат:

ПС = 1933,4+ 3900 + 1170+ 1840,41 +2576 +7020 = 18439,81 грн.

Адміністративні витрати визначаються із відомостей по аналізу повної собівартості виробу і в середньому можуть складати 140-200% від основної заробітної плати.

АР = Зо*1,5 = 5376* 1,4 = 5460 грн.

Зовнішні виробничі витрати, які мають зв'язок зі збутом виробів, складають 5-10% від виробничої собівартості:

НР = ПС*0,1 = 18439,81*0,1 = 1844 грн.

Повна собівартість:

ПС = ПС + АР + НР = 18439,81 + 5460 + 1844= 25743,81 грн.

Калькуляція собівартості виробу наведена у таблиці 16.

Таблиця 16 - Калькуляція собівартості виробу

Перелік статей калькуляції	**Сума, грн.**
1. Матеріали та комплектуючі	1933,4
2. Основна заробітна плата	3900
3. Додаткова заробітна плата	1170
4. Відрахування на соціальні потреби	1840,41
5.Витрати на зберігання та експлуатацію устаткування	2576
6. Загальновиробничі витрати	7020
Виробнича собіврtість	**18439,81**
7. Адміністративні витрати	5460
8. Витрати на збут	1844
Повна собівартість пристрою	**25743,81**

5.2 Розрахунок ціни пристрою

Розрахунок ціни пристрою виконуємо згідно схеми «собівартість плюс добуток»

$$Цопт = С + Д,$$

де С – повна собівартість виробу;

Д – величина добутку.

Добуток розраховується виходячи із рентабельності (R) виробництва виробів, визначається підприємством і приймається у розмірі до 35%.

Тоді оптова ціна виробу буде розраховуватись за формулою:

$$Ц\ опт = С + С*R / 100 = 25743,81 + 25743,81 *35 / 100 = 34754 \text{ грн.}$$

Рознічна ціна з урахуванням 20% НДС:

$$Ц\ роз = Цопт*1,2 = 34754*1,2 = 41705 \text{ грн.}$$

ВИСНОВОК

У випускній кваліфікаційній роботі спроектований універсальний зарядний пристрій для електромобілів. Основою є Buck-Boost конвертор, що собою імпульсний блок живлення, який поєднує у собі принципи понижувального і підвищувального типу у одному контурі.

Для того щоб заряд був ефективним, електромобілі обладнані інтерфейсом за допомогою якого відбувається обмін даними з процесором зарядної станції. Через протокол CAN бортовий комп'ютер повідомляє про необхідність заряду, та потрібне значення струму у даний момент часу, а у аварійних випадках, видає команду «СТОП».

Дана система складається з понижуючо-підвищуючуго (Buck-Boost) перетворювача, акумуляторної батареї та вузла коммутації, що дозволяє заряджати її, або використовувати накопичену енергію.

За рахунок власної батареї можна користуватися нічним тарифом на електроенергію, накопичуючи енергію вночі, та використання цієї енергії вдень.

Також пристрій дозволяє ефективно використовувати "зелену" енергію за рахунок використання сонячних батарей, а також за рахунок електромережі, за її наявності.

Вибір джерела живлення здійснює оператор зарядної станції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Типи зарядок електромобілів [Електронний ресурс]. URL: http://autogeek.com.ua/tipyi-zaryadok-elektromobiley-kakoy-vyibrat-chtobyi-zaryazhatsya-v-ukraine/ (Дата звернення: 18.02.2017).
2. CHAdeMO Interface [Електронний ресурс]. URL: http://chademo.com/ (Дата звернення: 17.02.2017).
3. T. Anegawa, "Safety Design of CHAdeMO Quick Charging System, World Electric Vehicle Journal, vol. 4, 2016, pp. 855-859.
4. Buck-Boost Converters [Електронний ресурс]. URL: http://www.learnabout-electronics.org/PSU/psu33.php (Дата звернення: 18.02.2017).
5. Литий-ионные (Li-ion) аккумуляторы [Електронний ресурс]. URL: http://www.powerinfo.ru/accumulator-liion.php (Дата звернення: 20.02.2017).
6. D. Zhang a , B.S. Haran a , A. Durairajan a , Studies on capacity fade of lithium-ion batteries accepted ,17 February 2000 – 180p
7. Вальпа О. Сучасна середовище розробки mikroC для програмування мікроконтролерів на мові високого рівня Сі. Сучасна електроніка. 2010. № 6. с.64
8. Білоус О.І., Єфименко С.А., Турцевич А.С., Напівпровідникова силова електроніка, Москва: Техносфера, 2018. – 216 с
9. TL431A Прецизионные настраиваемы регуляторы шунта [Електронний ресурс]. URL: http://www.naliwator.narod.ru/other/tl431rus.pdf/ (Дата звернення: 22.02.2017).
10. Москатов Е. А. Справочник по полупроводниковым приборам. – М.: Журнал “Радио”, 2015. – 208 с.
11. Економіка підприємства: Підручник / За заг. ред. д.е.н., проф. Л.Г.Мельника Суми: ВТД “Університетська книга”, 2004. – 648с.
12. Мельник Л.Г., Ильяшенко С.Н., Касьяненко В.А. Экономика информации и информационные системы предприятия : Учебное пособие – Сумы ИТД «Университетская книга» , 2014. – 400 с.
13. ttp://pcbfab.ru
14. http://www.petrocom.ru
15. http://www.gaw.ru/html.cgi/components/adc/adc_7.htm

Додаток А

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Замір значень АЦП.

```
#include <mega128.h>
#include <delay.h>
#include < stdio.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd.h>

#define ADC_VREF_TYPE 0x40

// Read the AD conversion result
unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
{
ADMUX=adc_input | (ADC_VREF_TYPE & 0xff);
// Delay needed for the stabilization of the ADC input voltage
delay_us(10);
// Start the AD conversion
ADCSRA|=0x40;
// Wait for the AD conversion to complete
while ((ADCSRA & 0x10)==0);
ADCSRA|=0x10;
return ADCW;
}
void main(void)
{
char lcd_buffer[16];
unsigned int u;
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 500,000 кгц
// ADC Voltage Reference: AVCC pin
ADMUX=ADC_VREF_TYPE & 0xff;
ADCSRA=0x81;
// LCD module initialization
lcd_init(16);
while (1)
{
/*так як АЦП у нас 10-бітний, то максимальне число, яке поверне функція, read_adc()
```

буде дорівнювати 1024, це число буде еквівалентом напруги на вході adc0.

Наприклад, якщо read_adc() повернув 512, то це означає, що на вхід adc0 ми подали половину опорної напруги

Щоб обчислити реальну напругу, нам потрібно скласти пропорцію

опорна напруга - 1024

шукана напруга - adc

У нас опорна напруга = 5

Шукана напруга = 5 * adc/1024, або Шукане напруга = 0,005*adc

для простоти переведемо вольти в миливольты, домножив на 1000

Шукана напруга = 0,005*adc*1000

```
*/
u=read_adc(0) * 5;//викликаємо функцію для вимірювання напруги і передаємо їй номер ніжки, на якій потрібно виміряти напругу
lcd_clear(); //чистимо дисплей перед виведенням
lcd_gotoxy(0,0); // переведення курсора в положення x=0 y=0
sprintf(lcd_buffer,"U = %i mv",u); // формуємо рядок для виводу
lcd_puts(lcd_buffer); //виводимо рядок на дисплей
delay_us(500); //робимо затримку 500 мл
};
}
>
```

Отримання команд від клавіатури.

```
;Опитування  першого  стовпця
Klaviatura:
ldi temp, 0b11110111            ;код стовпця 1

out PortD, temp                 ;
sbis PinD,0                     ;Перевіряємо  клавішу 1
ldi sklav,1             ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,1                     ;Перевіряємо  клавішу 6
ldi sklav,6                     ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,2                     ;Перевіряємо  клавішу 11
ldi sklav,11                    ;Якщо натиснута зберігаємо  код в
;клавіші в регістрі стану клавіатури

; Опитування  другого стовпця
ldi temp, 0b11101111            ;код стовпця 2
out PortD, temp                 ;
sbis PinD,0                     ;Перевіряємо  клавішу 2
ldi sklav,2             ;Якщо натиснута зберігаємо  код
```

```
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,1                    ;Перевіряємо  клавішу 7
ldi sklav,7                    ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,2                    ;Перевіряємо  клавішу 12
ldi sklav,12                   ;Якщо натиснута зберігаємо  код в
;клавіші в регістрі стану клавіатури

; Опитування  третього стовпця
ldi temp, 0b11011111           ;код стовпця 3
out PortD, temp                ;
sbis PinD,0                    ;Перевіряємо  клавішу 3
ldi sklav,3          ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,1                    ;Перевіряємо  клавішу 8
ldi sklav,8                    ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,2                    ;Перевіряємо  клавішу 13
ldi sklav,13                   ;Якщо натиснута зберігаємо  код в
;клавіші в регістрі стану клавіатури

; Опитування  четвертого стовпця
ldi temp, 0b10111111           ;код стовпця 4
out PortD, temp                ;
sbis PinD,0                    ;Перевіряємо  клавішу 4

ldi sklav,4          ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,1                    ;Перевіряємо  клавішу 9
ldi sklav,9                    ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,2                    ;Перевіряємо  клавішу 14
ldi sklav,14                   ;Якщо натиснута зберігаємо  код в
;клавіші в регістрі стану клавіатури

; Опитування  п’ятого  стовпця
ldi temp, 0b01111111           ;код стовпця 5
out PortD, temp                ;
sbis PinD,0                    ;Перевіряємо  клавішу 5
ldi sklav,5          ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
sbis PinD,1                    ;Перевіряємо  клавішу 10
ldi sklav,10                   ;Якщо натиснута зберігаємо  код
;клавіші в регістрі стану клавіатури
```

```
sbis PinD,2                    ;Перевіряємо  клавішу 15
ldi sklav,15                   ;Якщо натиснута зберігаємо  код в
;клавіші в регістрі стану клавіатури
rcall drebezg                  ;Виклик  підпрограми захисту від  тремтіння
;контактів
; Достатьо 4 NOP. Потрібно для того, щоб перед перевіркою дати ніжці час на
; те, щоб зайняти потрібний рівень. Річ у тому, що реальна схема має деяке
; значення C і L, яке робить неможливою миттєву зміну рівня, невелика затримка
; все ж є. А на швидкості в 8Мгц і вище процесор клацає команди з такою, що
; швидкістю напруга на виводі  ще не спала, а ми вже перевіряємо стан виводу.
```

Ініціація протоколу UART.

```
# include <mega128.h>
# include <stdio.h>
// USART Receiver interrupt service routine   interrupt [ USART_RXC ] void

usart_rx_isr ( void )
{
char data ;
data = UDR ;

if ( data == '1 ' ) PORTC.0 = 1 ;
if ( data == '0 ') PORTC.0 = 0 ;
}

void main ( void )
{
// Port C initialization
PORTC = 0x00;
DDRC = 0x01;
  // USART initialization
// Communication Parameters : 8 Data , 1 Stop , No Parity
// USART Receiver : On
// USART Transmitter : Off
// USART Mode : Asynchronous
// USART Baud Rate : 9600
UCSRA = 0x00;
```

```
UCSRB = 0x90 ;
UCSRC = 0x86 ;
UBRRH = 0x00;
UBRRL = 0x33 ;
  // Global enable interrupts

# asm ( " sei " )
while ( 1 )
  {
} ;
```

Широтно – імпульсна модуляція.

```
  # include <mega128.h>

  # include <delay.h>
void main ( void )
{
// Port B initialization
PORTB = 0x00;
DDRB = 0x02 ;

// Timer / Counter 1 initialization
TCCR1A = 0x40 ;
TCCR1B = 0x09 ;
TCNT1H = 0x00;
TCNT1L = 0x00;
ICR1H = 0x00;
ICR1L = 0x00;
OCR1AH = 0x00;
OCR1AL = 0x64 ;
OCR1BH = 0x00;
OCR1BL = 0x00;

while ( 1 )
      {
        OCR1AL + + ; / / Збільшуємо регістр порівняння на 1 , щоб змінилася частота
        delay_ms (100);
      } ;
}
```

Вивід інформації на дисплей через шину I2C.

```
#include <avr/io.h>
#include <compat/twi.h>
```

```
#include <avr/interrupt.h>

 #define I2CSLAVE_ADDR       0x4E
 #define PORT_DDR           0xB0 // PORTB Settings
#define PORT_IN            0xB1 // Get PINB
#define PORT_OUT           0xB2 // Set PORTB

unsigned char regaddr; // Store the Requested Register Address
unsigned char regdata; // Store the Register Address Data

void i2c_slave_action(unsigned char rw_status)
{
   switch(regaddr) {
      // PORT
      case PORT_DDR:
         if (rw_status == 0)
            // read
            regdata = DDRB;
         else
            // write
            DDRB = regdata;
         break;

      case PORT_IN:
         if (rw_status == 0)
            // read
            regdata = PINB;
         break;

      case PORT_OUT:
         if (rw_status == 1)
            // write
            PORTB = regdata;
         break;
   }
}

ISR(TWI_vect)
{
   static unsigned char i2c_state;
   unsigned char twi_status;


   // Disable Global Interrupt
   cli();
```

```
        // Get TWI Status Register, mask the prescaler bits (TWPS1,TWPS0)
        twi_status=TWSR & 0xF8;

        switch(twi_status) {
           case TW_SR_SLA_ACK: // 0x60: SLA+W received, ACK returned
              i2c_state=0;    // Start I2C State for Register Address required
              break;

           case TW_SR_DATA_ACK:    // 0x80: data received, ACK returned
              if (i2c_state == 0) {
                 regaddr = TWDR; // Save data to the register address
                 i2c_state = 1;
              } else {
                 regdata = TWDR; // Save to the register data
                 i2c_state = 2;
              }
              break;

           case TW_SR_STOP:      // 0xA0: stop or repeated start condition received
while selected
              if (i2c_state == 2) {
                 i2c_slave_action(1);    // Call Write I2C Action (rw_status = 1)
                 i2c_state = 0;      // Reset I2C State
              }
              break;

           case TW_ST_SLA_ACK: // 0xA8: SLA+R received, ACK returned
           case TW_ST_DATA_ACK:    // 0xB8: data transmitted, ACK received
              if (i2c_state == 1) {
                 i2c_slave_action(0);    // Call Read I2C Action (rw_status = 0)
                 TWDR = regdata;     // Store data in TWDR register
                 i2c_state = 0;      // Reset I2C State
              }
              break;

           case TW_ST_DATA_NACK:   // 0xC0: data transmitted, NACK received
           case TW_ST_LAST_DATA:      // 0xC8: last data byte transmitted, ACK
received
           case TW_BUS_ERROR:  // 0x00: illegal start or stop condition
           default:

          i2c_state = 0;  // Back to the Begining State
        }
        // Clear TWINT Flag
```

```
    TWCR |= (1<<TWINT);
    // Enable Global Interrupt
    sei();
}

int main(void)
{
    // TWI Pull UP
    PORTC |= ((1<<PINC4) | (1<<PINC5));

    // Initial I2C Slave
    TWAR = I2CSLAVE_ADDR & 0xFE;      // Set I2C Address, Ignore I2C General Address 0x00
    TWDR = 0x00;          // Default Initial Value

    // Start Slave Listening: Clear TWINT Flag, Enable ACK, Enable TWI, TWI Interrupt Enable
    TWCR = (1<<TWINT) | (1<<TWEA) | (1<<TWEN) | (1<<TWIE);

    // Enable Global Interrupt
    sei();

    // Initial Variable Used
    regaddr=0;
    regdata=0;

    while (1) {

    }

}
```

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	Конденсатори		
C1-C4,C9	К50-29 10мкФ 25В И±10%	5	
C5,C6	К1-1 3,3пФ И±10%	2	
C12-C14	К1-1 0,47мкФ И±10%	3	
C7,C8,	К75-40б 100мкФ 750В И±10%	2	
C10,C11	К75-40б 100мкФ 750В И±10%	2	
	Мікросхеми		
DA1	TL-431A	1	
DD1	L6385E	1	
DD2	AtMega 128	1	
DD3	MCP2551	1	
	Індикатор символьний		
HL1	Z- LCD I2C Keypad Shield	1	
	Індуктивність		
L	ТР4А-ЕЕ70/33/32 2,88мкГн	1	
	Резистори		
R1,R4,R6	С2-23 -0,125-1кОм ±5% ГОСТ	3	
R8,R10	С2-23 -0,125-1кОм ±5% ГОСТ	2	
R2,R3	С2-23-0,125-10кОм ±5% ГОСТ	2	
R5,R7	С2-23-1-200кОм ±5% ГОСТ	2	
	Діоди		
VD1,VD2	SKN 501/12 500A 1200V	2	
VR1	LM-7805CV	1	
	Транзистори		
VT1,VT2	FZ400R12KE3B1	2	
VT3-VT8	КП959А	6	
	Фільтр кварцевий		
ZQ1	НС-49S 16.0МГц	1	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЦЗДВН 8.171.00.10. 798 ПЕ		
Разраб.		Тур			Багатофункціональнасистема зарядки акумуляторних батарей електрокарів. Перелік елементів.	Лит.	Лист 1 / Листов 1
Провер.		Новгородцев					
Реценз.						СумДУ ЕСмз – 01п	
Н. Контр.		Гапич					
Утверд.		Опанасюк					