МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ПОПОВСЬКИЙ ТАРАС ЮРІЙОВИЧ

Допускається до захисту:
Завідувач кафедри
інформаційних технологій,
к.т.н., доцент
_____Т.В. Нескородєва
«__»_____20__р.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗАРЯДУ LI-ION БАТАРЕЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Кваліфікаційна (бакалаврська) робота

Керівник:

Чернов Д. В.,
доцент кафедри
інформаційних технологій,
к.т.н.

_____
(підпис)

Оцінка :_____/ _____/ _____
(оцінка за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2021

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ ... 3
ABSTRACT ... 3
Вступ ... 4
РОЗДІЛ 1. Методи балансування акумуляторних модулів та батарей ... 6
1.1 Різновиди систем балансування акумуляторних батарей ... 6
1.2 Активні системи балансування ... 6
1.3 Пасивні системи балансування ... 8
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ BMS ... 11
2.1 Принцип роботи BMS ... 11
2.2 Основні функції BMS ... 12
2.3 Процес балансування ... 13
2.4 Різновиди BMS контроллерів ... 14
РОЗДІЛ 3.Практична частина, оптимізація роботи системи BMS ... 15
3.1 Вибір обладнання ... 15
3.2 Монтаж,встановлення,активація ... 17
3.3 Декодування та дослідження програмного коду ... 22
3.4 Оптимізація заряду та моніторинг ... 27
ВИСНОВКИ ... 32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ ... 33

АНОТАЦІЯ

Поповський Т.Ю. Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», спеціалізація «Технології інтернету речей».

Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця 2021.

У кваліфікаційній (бакалаврській) роботі досліджено принцип роботи BMB модулів а також систем BMS , виявлено недоліки в певних програмних кодах керуваннями балансуванням ,показано процес декодування та поліпшеня програмного коду керування системою а також встановлено нові покращені параметри для оптимізованої, та більш продуктивної роботи.

ABSTRACT

Popovsky T. Yu. Specialty 105 "Applied Physics and Nanomaterials," specialization "Internet of Things Technologies."

Donetsk National University named after Vasily Stus, Vinnitsa 2021.

In the qualification (bachelor's) work, the principle of operation of the BMS modules as well as BMS systems was investigated, shortcomings in certain program codes for balancing control were identified, the process of decoding and improving the system control program code was shown, and new improved parameters for optimized, and more productive work were established.

Вступ

Сьогодні акумулятори мають широке застосування в мехатроніці, робототехніці, автоматичних системах управління , автомобілебудуванні та промисловості в цілому. Електроавтомобілі, автономні роботи, системи резервного харчування, мобільні засоби з'язку та обчислювальної техніки – це далеко не повний перелік варіантів їх застосування. Удосконалюються і самі акумулятори. У своїх розробках у більшості випадків ми застосовуємо літій-іонні акумуляторні батареї.

Особливості будови акумуляторів, зокрема, як хімічні процеси в них протікають, диктують необхідність застосування різноманітних схем зарядних пристроїв і пристроїв контролю стану акумуляторів. Найбільш важливе місце тут займає система контролю та управління акумуляторною батареєю.

В ході роботи літій-іонних акумуляторів виникає таке явище, як розбалансування. Це пов'язано з тим, що всі акумулятори мають відмінності в таких характеристиках, як струм самозагону в режимі зберігання, внутрішній опір, швидкість деградації електродних матеріалів тощо. Відповідно відмінності в напругах акумуляторів призводять до зниження їх терміну служби і виходу з ладу. Для вирішення цієї проблеми люди придумали системи балансування акумуляторів.

Акумуляторні комірки, так будемо називати окремий літієвий елемент живлення, мають розбаланс у своїх характеристиках, що і призводить до появи різниці напруги і ємності між комірками. Розбаланс може приводити до того, що всі комірки розряджаються порізному. Говорячи простою мовою, одна комірка перерозрядиться, а інша недорозрядиться.

Застосування систем контролю та управління акумуляторною батареєю дозволяє:

- Підвищити експлуатаційні характеристики акумуляторної батареї за рахунок збору та аналізу корисної інформації про стан акумуляторів

- Пеалізувати найбільш ефективні методи заряду;
- Підвищити безпеку експлуатації акумуляторів.

Метою дослідження розробка системи ефективного заряду Li-Ion аккумуляторів для електромобіля.

Об’єктом дослідження є процеси заряду-розпяду у Li-Ion аккумуляторах для електромобіля.

Предметом дослідження є система моніторингу та керування балансуванням високовольтної гібридної батареї заводськго типу автомобіля Chevrolet Volt на основі стандартних модулів контролю напруги.

Завданням дослідження

- проаналізувати та виявити недоліки існуючих рішень заряду Li-Ion аккумуляторів для електромобіля;
- декодувати протоколи обміну системи контролю та управління акумуляторною батареєю;
- розробити програмний код для керування системи контролю та управління акумуляторною батареєю реалізований на основі власної плати керування (TehnoVinTar V 1.0).

РОЗДІЛ 1. Методи балансування акумуляторних модулів та батарей

1.1 Різновиди систем балансування акумуляторних батарей

Системи балансу (СБ), як такі, можна класифікувати за кількома ознаками:

- Керовані СБ
- Некеровані СБ
- Зовнішні

Однак насамперед СБ поділяють на два типи: активні і пасивні. Звичайно ж, існують різні способи реалізації СБ кожного з цих типів. Наприклад, активні СБ можуть бути трансформаторними або ємністю.

В наш час виробники реалізують різні підходи до побудови СБ. Вибір у кожному конкретному випадку визначається технічними, експлуатаційними економічними та іншими вимогами, що пред’являються в цілому, а також особливостями їх побудови.

Далі ми розглянемо основні принципи роботи активних і пасивних СБ і виділимо основні фактори, які повинні бути взяті до уваги при виборі того, чи іншого підходу до побудови СБ.

1.2 Активні системи балансування

Активні СБ здатні перерозподіляти енергію всередині акумуляторної батареї (далі АБ) і можуть працювати, як при розряді, так і при заряді.

На рисунку 1.1 схематично показаний принцип такого перерозподілу при розряді.

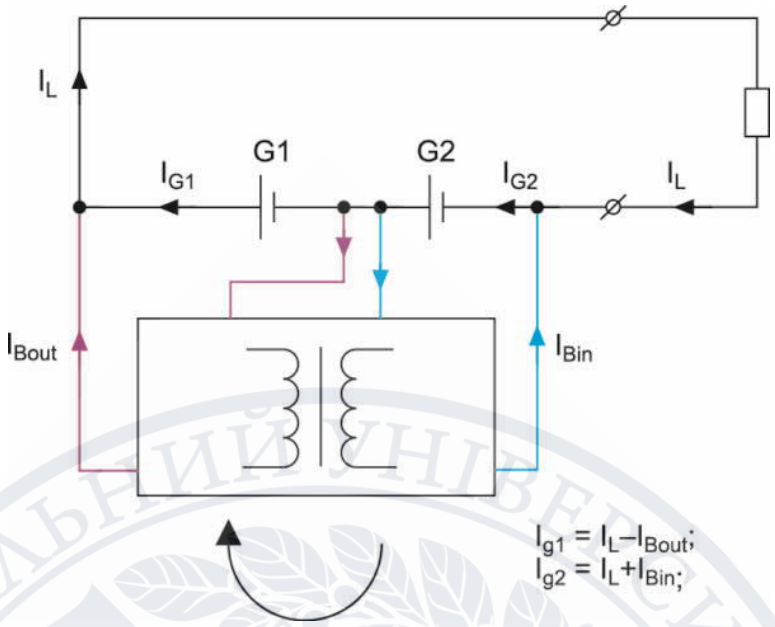


Рисунок 1.1

Перерозподіл енергії походить від акумулятора G2, що має велику ємність, до акумулятора G1, що має меншу ємність. Активна СБ бере частину енергії у G2, збільшуючи його струм розряду (I_{G2}), і зменшує струм розряду G1 (I_{G1}).

В ідеальному випадку, якщо прийняти ККД активної СБ за 100%, а напруги на акумуляторах вважати приблизно рівними, то вхідний і вихідний струм СБ будуть рівні ($I_{Bout} = I_{Bin}$).

При заряді ситуація зміниться на протилежну, і активна СБ буде зменшувати струм заряду акумулятора G1 і збільшувати струм заряду G2, стаючи для G1 свого роду шунтом, показаним на рисунок 1.1, але не перетворює енергію в тепло, а передаватиме її акумулятору G2.

Проведемо оціночний розрахунок (без урахування ККД СБ): які ж струми балансування необхідно мати, щоб збалансувати наведену, як приклад, батарею в різних режимах розряду. Врахуємо при цьому час розряду, що часто необхідно споживачеві для розрахунку роботи АБ.

При одногодинному розряді максимальний струм АБ у навантаження складе 75 А, струм балансу – 25 А; при 2-годинному режимі струм розряду – 37,5 А, струм балансу – 12,5 А; при 4-годинному режимі струм розряду – 18,75 А,

струм балансу – 6,25 А; при 8-годинному режимі струм розряду – 9,375 А, струм балансу – 3,125 А. За розрахунками видно, що при 4-... 8-годинному режимі розряду навіть на АБ з дуже великим розкидом по ємності, взятої нами в якості прикладу, балансувальні струми залишаються невеликими. Але, і такі струми перерозподілу енергії всередині АБ здатні підвищити віддавану в навантаження ємність, яка у всіх режимах розряду складе 75 А · год. Ця ємність, природно, більша, ніж при використанні пасивної СБ, так як з 'являється можливість віддати в навантаження всю енергію, запасену в АБ.

1.3 Пасивні системи балансування

Пасивна СБ буде намагатися зменшити струм заряду того акумулятора, напруга на якому зростає швидше. У загальному випадку це можна уявити як замикання такого акумулятора шунтуючим резистором R. Таким чином, через цей акумулятор буде протікати лише частина зарядного струму. Частина струму, що залишилася, потече через шунт R, що схематично зображнено на рисунку 1.2.

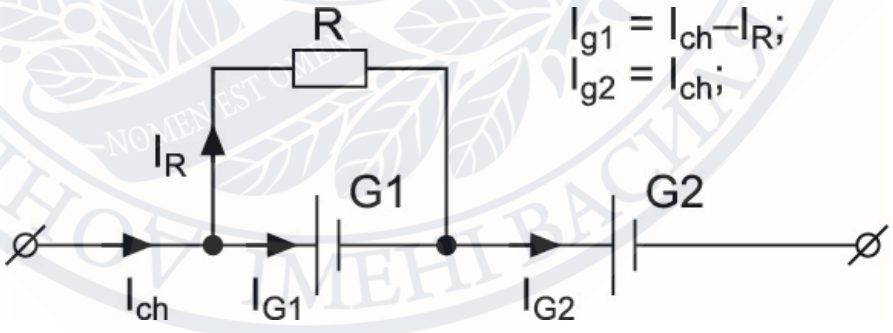


Рисунок 1.2

Акумулятор G1 має ємність 50 А · год, G2 – 100 А · год. При зниженні струму заряду на величину IR швидкість заряду акумулятора G1 зменшиться, отже, зменшиться і швидкість зростання напруги на нім. Таким чином, при досягненні кінцевої зарядної напруги на акумуляторі G1 акумулятор G2, через

який весь цей час протікав повний струм заряду, запасе дещо більшу кількість енергії, ніж при її відсутності .Величина цієї «добавки» визначається різністю струмів заряду акумуляторів, помноженої на час заряду, і без фази падаючого струму складе IR ст.1t .

Під час розряду батареї пасивна СБ, як правило, ніяких дій не проводить. Розряд в штатному режимі буде зупинено, коли напруга на одному з акумуляторів (в даному випадку на акумуляторі G1) досягне мінімального допустимого значення.

При наступному циклі заряду ситуація дещо зміниться. Оскільки в акумуляторі G2 залишиться деяка кількість енергії, отже і напруга на ньому буде вищою, ніж на акумуляторі G1. Тому на початку заряду СБ буде шунтувати резистором акумулятор G2.

Потім, коли напруга на G1 перевищить напругу на G2, шунтуватися буде вже акумулятор G1. Природно, шунтування акумулятора G2 на початку заряду виглядає неефективним, так як виходить, що СБ в цей момент працює проти себе. Насправді великих проблем через це не виникає.

По-перше, в добре підібраній батареї розкид по ємності між акумуляторами незрівнянно менше, ніж у розглянутому прикладі, навіть після тривалої експлуатації, внаслідок чого шунтування «не того» акумулятора буде короткочасним.

По-друге, дивлячись на рисунок 1.2, можна помітити, що є ділянка,на якій при не дуже великому розкиді ємностей різниця напружень між акумуляторами на цій ділянці може бути порівнянна з похибкою вимірювання СБ. Отже, в цей період ніякого шунтування проводитися не буде.

У підсумку, при правильно працюючій пасивній СБ, виникає ситуація, коли в кінці заряду АБ всі акумулятори в ній виявляються повністю зарядженими, а в кінці розряду в акумуляторах з дещо більшою ємністю залишається деяка кількість енергії, яка в даному випадку не використовується.

Таким чином, загальна ємність АБ з послідовно з’єднаних акумуляторів

виявляється не більше, ніж у акумулятора з мінімальною ємністю.

Узагальнюючи сказане, можна виділити кілька основних недоліків пасивних СБ. В першу чергу, це неможливість використання всієї енергії, яку може запасти батарея. Крім того, при проходженні струму через шунтуючі резистори на них відбувається розсіювання енергії у вигляді тепла, що знижує ККД системи «АБ – зарядний пристрій». При використанні АБ середньої ємності (десятки А · год), не кажучи вже про високоємні, кількість тепла буде великою, і розробникам доведеться передбачити систему тепловідведення, що в деяких випадках буває досить непросто. Також при використанні пасивної СБ іноді вдаються до навмисного збільшення часу заряду шляхом обмеження зарядного струму. При великому розбалансі це сприяє більш ефективній роботі СБ завдяки збільшенню співвідношення внутрішнього опору та струму зарядки проте збільшення часу заряду призводить до зниження експлуатаційних характеристик батареї.

В яких же випадках варто застосовувати пасивні СБ? Це необхідно робити тоді, коли необхідно скомпенсувати струм самозагону однакових або дуже близьких за ємністю акумуляторів. Навіть однакові акумулятори одного і того ж виробника можуть мати різні струми самозагону. При зберіганні АБ різність струмів самозагону призведе до того, що в різних акумуляторах залишиться різна кількість енергії, навіть при однаковій ємності останніх. Гідністю пасивних СБ є їх низька вартість, а також компактність і простота. Важливо і те, що пасивні СБ мало впливають на питомі характеристики всієї АБ (Вт · год/кг), проте їх застосування накладає додаткові вимоги щодо підбору акумуляторів перед комплектуванням і складанням батареї.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ КЕРУВАННЯ BMS

Система управління батареї (BMS) – електронна система, яка управляє заряд/розрядним процесом акумуляторної батареї, відповідає за безпеку її роботи, проводить моніторинг стану батареї, оцінку вторинних даних працездатності.

BMS (Battery Management System) – це електронна плата, яка ставиться на акумуляторну батарею з метою контролю процесу її заряду/розряду, моніторингу стану акумулятора і його елементів, контролю температури, кількості циклів заряду/розряду, захисту складових акумуляторної батареї.

2.1 Принцип роботи BMS

Система управління і балансування забезпечує індивідуальний контроль напруги і опору кожного елемента акумулятора, розподіляє струми між складовими акумуляторної батареї під час зарядного процесу, контролює струм розряду, визначає втрату ємності від дисбалансу, гарантує безпечне підключення/відключення навантаження.

На основі отримуваних даних BMS виконує балансування заряду комірок, захищає акумулятор від короткого замикання, перевантаження по струму, перезаряду, перерозряду (високого і надмірно низької напруги кожної комірки), перегріву і переохолодження.

Функціональність BMS дозволяє не тільки поліпшити режим експлуатації акумуляторних батарей, але і максимально збільшити термін їх служби. При визначенні критичного стану батареї Battery Management System відповідно реагує, видаючи заборону на використання акумуляторної батареї в електросистемі – відключає її. У деяких моделях BMS передбачено можливість ведення реєстру (запису даних) про роботу акумуляторної батареї і їх подальшої передачі на комп’ютер.

2.2 Основні функції BMS

- Захист акумуляторних клітин і цілої батареї від пошкоджень;
- Збільшення терміну служби батареї;
- Підтримання акумулятора в стані.

1. Контроль за станом елементів акумуляторної батареї з точки зору:
   - Напруги: загальна напруга, напруга окремих комірок, мінімальна і максимальна напруга комірки;
   - Температури: середня температура, температура електроліту, температура на виході, температура окремих акумуляторних «клітин», плати BMS (електронна плата, як правило, оснащується, як внутрішніми температурними датчиками, що проводять моніторинг температури безпосередньо регулювального пристрою, так і зовнішніми, які використовуються для контролю температури конкретних елементів батареї); виконання усіх покладених на нього завдань.

Система керування і балансування комірок може зберігати в пам’яті такі показники, як кількість циклів заряду/розряду, максимальна і мінімальна напруга комірок, максимальне і мінімальне значення струму заряду і розряду. Саме ці дані і дозволяють визначати стан справності акумуляторної батареї.

Неправильний заряд – одна з найбільш поширених причин виходу акумуляторної батареї з ладу, тому контроль заряду є однією з основних функцій мікроконтролера BMS.

2. Інтелектуально-обчислювальна. На основі перерахований вище пунктів BMS проводить оцінку:
   - Максимального допустимого струму заряду;
   - Максимального допустимого струму розряду;
   - Кількості енергії, що поставляється внаслідок зарядки, або ж втрачається при розряді;
   - Внутрішнього опору осередку;

- Сумарного напрацювання акумуляторної батареї в процесі експлуатації (загальної кількості циклів роботи).

3. Зв’язкова. BMS може подавати вищевказані дані на зовнішні керуючі пристрої шляхом дротової або ж бездротової комунікації.

2.3 Процес балансування

Балансування – це метод рівномірного розподілу заряду між усіма комірками акумуляторної батареї, завдяки чому максимально продовжується термін служби акумулятора.

BMS запобігає надмірному перезарядженню, недозаряді і нерівномірному розрядному процесу в окремих акумуляторних комірках:

- Здійснюючи «перетасовку» енергії від найбільш заряджених клітин до менш заряджених (активне балансування);
- Знижуючи до достатнього низького рівня надходження струму до практично повністю зарядженої комірки, одночасно з тим, коли менш заряджені акумуляторні клітини продовжують отримувати нормальний зарядний струм (принцип шунтування);
- Забезпечуючи процес модульної зарядки;
- Регулюючи вихідні струми комірок акумулятора, підключеного до електроустрою.

З метою захисту плати BMS від негативного впливу вологи і пилу її покривають спеціальним епоксидним герметиком.

Не завжди акумулятори має тільки одну систему управління і балансування. Іноді замість однієї плати BMS, яка під’єднується за допомогою вихідних проводів до акумуляторної батареї і контролера, використовується відразу кілька пов' язаних між собою регулювальних електронних плат.

2.4 Різновиди BMS контроллерів

Після зібраної інформації можна виділити декілька видів контроллерів заряду високовольтної батареї, а саме:

- Стаціонарні,використовуються для систем аварійного живлення та систем альтернативної енергетики
- Автомобільні, використовуються для високовольтних тягових батарей електромобілів та гібридних автомобілів
- Побутові, використовуються у електроприладах з автономною роботою, таких як електродрельки,електролобзики, мобільні телефони та інше.

Завдяки опрацьованій інформації та порівнянню різних BMS контроллерів, можна вибрати співвідношеня практичності,якості та ціни, для подальшого покращення та розробки програмного забезпечення за для оптимізації заряду літій іонних батарей високовольтного тягового аккумулятора електромобіля чи гібрида.

РОЗДІЛ 3.Практична частина, оптимізація роботи системи BMS

3.1 Вибір обладнання

Після проробленної роботи по аналізу та дослідженню видів систем балансування високовольтних батарей, були виявлені деякі недоліки у пасивних системах балансування. Особливо варто було б звернути увагу на систему балансування гібридного акумулятора автомобіля Chevrolet Volt (Gen1).

У даному автомобілі поширена проблема розряду високовольтної батареї , за рахунок проблеми в програмному кодові системи моніторингу та балансування гібридної високовольтної батареї. Виробником не передбачено ніякого рішення проблеми.

Для подальшого проведення дослідження було придбано високовольтну батарею 2013 року випуску з автомобіля шевроле вольт. Батарея поставляється разом зі стандартними модулями балансування без основної плати BMS. На рисунку 3.1 показанапридбана високовольтна батарея.



Рисунок 3.1 – Батарея Chevrolet Volt

Для можливості повноцінного використання та експлуатації було придбано зарядний пристрій з конвертором DC-DC від автомобіля Nissan Leaf та електродвигун із інвертором. Ці елементи потрібні будуть для можливості реалізації циклів заряд-розряду, а саме експлуатації електромобіля.

На рисунку 3.2 показаний інвертор, який буде відповідати за споживання струму з високовольтної батареї, завдяки такому елементові можна змінювати умови навантаження на високовольтну батарею.

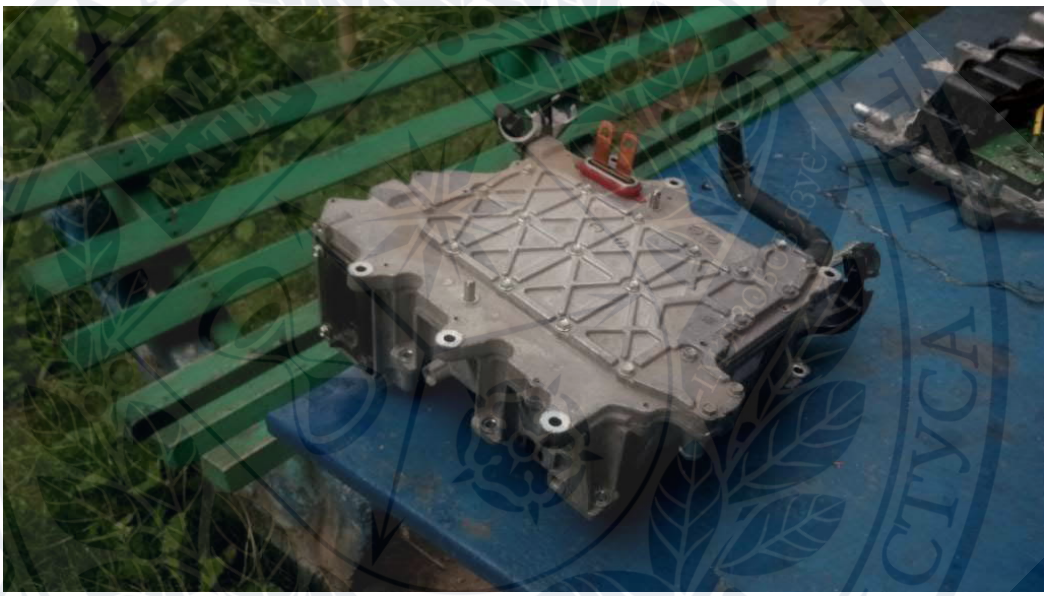


Рисунок 3.2 – Інвертор

Наступним етапом було придбання автомобіля для комплексного встановлення всіх елемниів і створення системи керування в яку в подальшому буде інтегровано контролер, який буде керувати ситемою балансування гібридної високовольтної тягової батареї електромобіля.

Для дослідів було обрано автомобіль (рисунок 3.3) Nissan Vanette C22 1987 року випуску з не працюючим двигуном внутрішнього згорання.



Рисунок 3.3 – Nissan Vanette C22

3.2Монтаж,встановлення,активація

Тепер потрібно встановити елементи у підготовлений кузов, для подальшої експлуатації та вимірів і доліджень для даної дипломної роботи.

В першу чергу потрібно встановити блок високовольтних акумуляторних батарей, так як це є найбільший елемент даного проекту і він потребує доволі великого простору.

Акумуляторні батареї варто було б встановлювати чим по нижче, так як для транспортного засобу найнижчий центр масси – це безпека. Але із-за неможливості довелося встановити високовольтну батарею всередині салону під задніми сидіннями третього та другого ряду. Блоки батарей повинні бути розташовані послідовно, так як і високовольтні підключення сформовані для такого типу з’єднань, так і той факт, що модулі балансування BMB мають свою власну послідовну кан лінію на 125кБ/с.

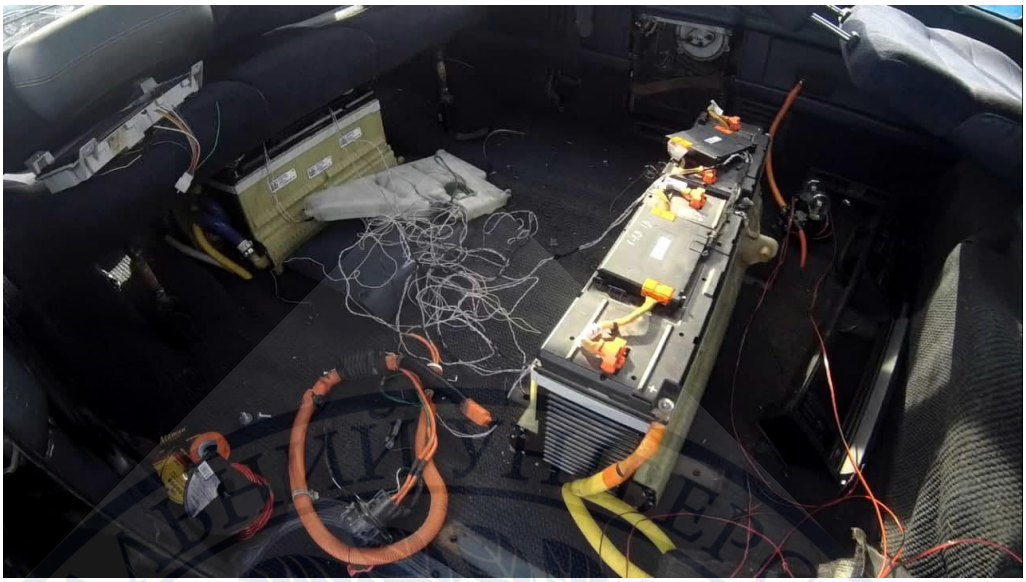


Рисунок 3.4

Під час підключення вжаливим моментом є те, що усі сигнальні дроти повинні бути прокладені в металічній ізоляції для запобігання магнітних спалахів, які можуть призвести до збоїв у роботі системи балансування або некоректного відображення даних на панелі приладів, що може спричинити помилкове спрацювання балансирів і, як наслідок, можна отримати розбалансовану батарею або пошкоджений елемент живлення. Тому, окрім металічної ізоляції провідників, які йдуть до сигнальних модулів високовольтної батареї, бажано використовувати екрановані провідники, що забезпечить працездатність системи.

Наступним етапом після підключення та проведення всіх потрібних провідників та силових дротів, є зняття показників з гальванічних елементів блоку акумуляторних батарей, у аналоговому вигляді. Ці виміри знадобляться в подальшому для порівняння показників BMB модулів під час декодування.

В нашому випадку, маємо високовольтну тягову батарею, яка складається з трьох нерозбірних блоків і загалом має 96 елементів з робочою напругою від 2.8 вольта до 4.2 вольта. Задля безпеки першого запуску системи та впевненості у справності усіх елементів батареї, потрібно в ручну за допомогою потенціометра або мультиметра первірити усі комірки високовольтної батареї.

Варто зазначити, перевіряти бажано декількома приладами, так як кожен прилад має свою погрішність, і невідомо яку.

Також важливо зазначити, що грає роль і напруга живлення мультиметра, так як чим менша напруга живлення тим малоймовірніша буде погрішність вимірювань. На рисунку 3.5 показаний процес вимірювання комірок високовольтної батареї,варто звернути увагу на те, що усі комірки зєднані за допомогою зварювальної технології .



Рисунок 3.5

Після вимірювання та записів стало відомо загальну напругу високовольтної батареї та значення напруги кожного з 96-ти гальванічних елементів. Виміри були продубльовані у блокнот-записник для можливості порівняння в майбутньому з електронними показниками. Загальна напруга батареї після вимірів становила 388 Вольт постійної напруги, дизбаланс на батареї присутній і рівний значенню 0.08 Вольта.

Далі потібно було встановити та перевірити плати керування електродвигуном та системами електромобіля. Ця ж плата в майбутньому буде сприймати інформацію з системи високовольтної батареї, аналізувати її і за рахунок отриманих даних буде активувати шутни BMB модулів.

Після написання програмного забезпечення керування двигуном і системами управління електромобіля потрібно перевірити, чи буде працювати плата керування у середовищі, у яке буде встановлюватися, так як місце, у яке вона буде встановлюватися, має значну роль.

Із-за розміщення поруч з силовими високовольтними проводами можливі періодичні збої у зв’язку великими спалахами магнітних полів. Тому найоптимальнішим місцем буде локація, якнайдалі від силових кабелів або місце ізольоване металевими стінками.

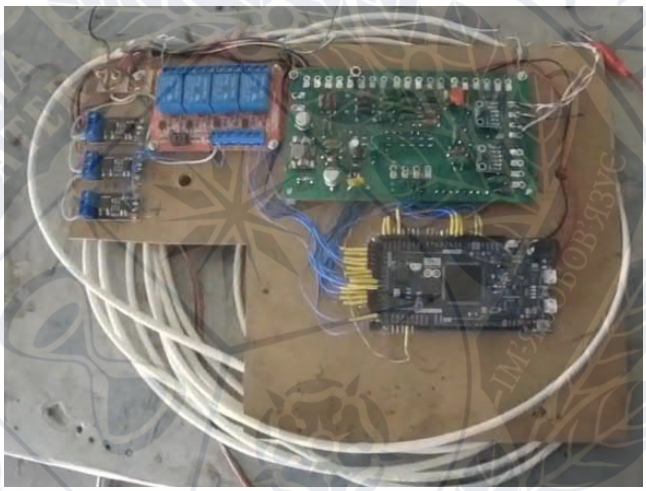


Рисунок 3.6 – Плата керування встановлена на тестовій платформі

Також на тестовій платформі додатково встановлені модулі управління обладнанням вхідних та вихідних сигналів, а саме керування контактором позитивним, контактором негативним та реле попереднього заряду. Для цих трьох елементів виділені три мосфет транзистора інтегровані на платі . Для решти елементів таких, як реле ламп заднього ходу, реле управління водяним насосом охолодження високовольтної батареї, реле управління водяним насосом охолодження силової установки, реле аварійного відмикання живлення електродвигуна.

Варто більше уваги звернути на реле аварійного відмикання, так як воно використовується для блокування чи захисту в аварійних ситуаціях. В момент

коли високовольтна батарея досягає мінімальної напруги, а саме один із 96-ти елементів високовольтної батареї доходить до напруги в 2.8 Вольта, то плата керування подає на аналогових вхід живлення реле сигнал і реле вимикає головний споживач силової установки – двигун.

На рисунку 3.7 нижче наведена тестова плата керування зі всіма потрібними підключеннями. Які вже задіяні та підключені до автомобіля а також мають можливість керувати та відмикати або активувати певні елементи лише за допомогою АТ-команд.

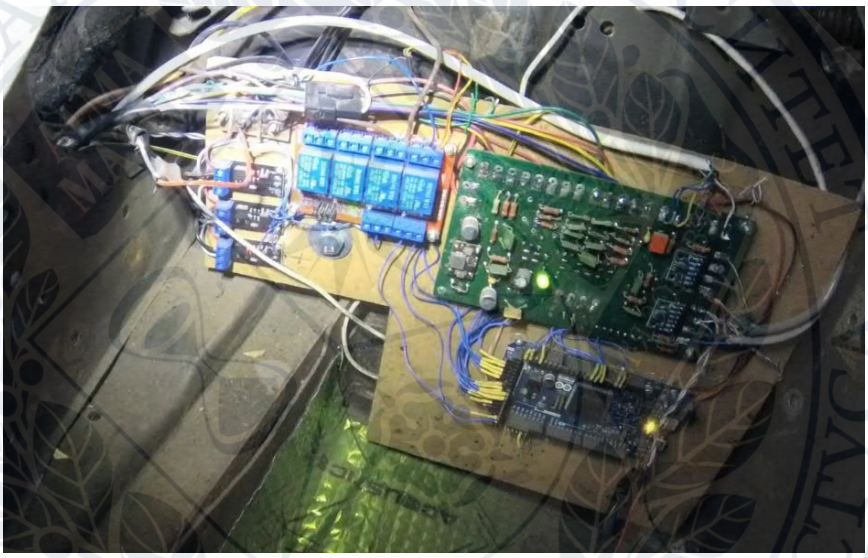


Рисунок 3.7 – Тестова плата керування підключена до авто

Після тестових перевірок та впевненості у роботі плати керування, можна остаточно закріплювати елементи та проводити додаткові провідники для подальшого з’єднання з системою моніторингу та балансування високовольтної тягової батареї.

Важливо зазначити , що усі сигнальні зєднаннння, а також і живленя систем моніторингу та балансування високовольтної батареї завжди гальванічно розвязані, для випадків, коли конструкція отримала пошкодженні і є ризик пробою високої напруги у низьковольтну систему.

Для запобігання таких випадків використовуються елементи, які називаються оптрон – це пара радіодеталей, а саме фотодіода та світлодіода, які за допомогою АЦП можуть передавти дані з однієї мікросхеми на іншу без використання гальванічних елементів схеми. Хоч і система, яку ми використовуємо для дослідів, вже має такий захист, про всяк випадок, на саморобній платі керування на кожен шлюз зв`зку встановлено по парі оптичних перетворювачів, що забезпечує захист системи у критичний момент чи під час виходу з ладу системи управління та балансування високовольтної батареї.

3.3 Декодування та дослідження програмного коду

Після проробленої роботи та перевірки працездатності всіх елементів, можна бути впевненим, що система працює справно і дані, які будуть зняті з системи контролю та балансування високовольтної батареї будуть мати адекватне значення.

В першу чергу потрібно підключитися до системи керування високовольтною батареєю, на даній стадії система в стані абіогенезу, навіть по при ті умови, що система має живленняя іпідключена до плати керування, вона абсолютно ніякії дій не виконує. Для зняття потоку даних, використовуємо прилад CAN-Hacker. Для цього налаштовуємо частоту на 125кБ/с, так як в порівнянні з системою керування двигуном швидкість меншав чотири рази.

Обов’язково потрібно перевірити правильність підключення провідниківа кан-ліній, так як їх полярність має велике значення.

Запускаємо программу і бачимо, що батарея хоч і в абіогенезі, але активно очікує команд, про що символізує поток кан-адрес зображений на рисунку 3.8.

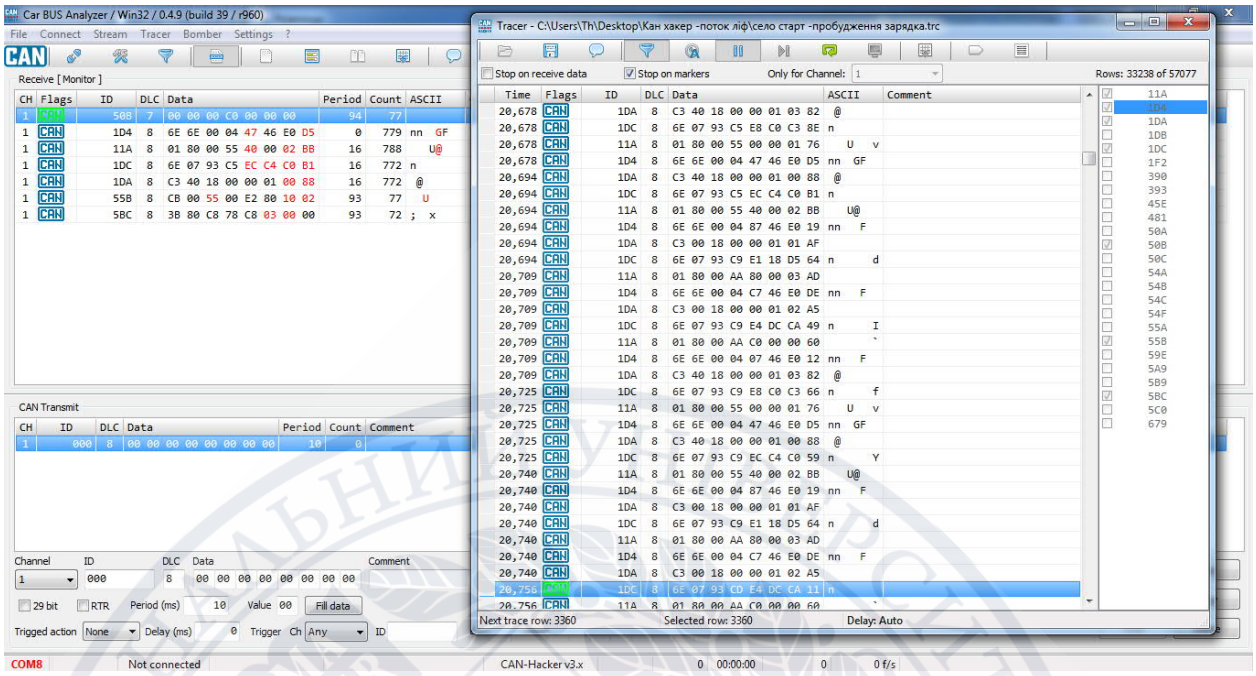
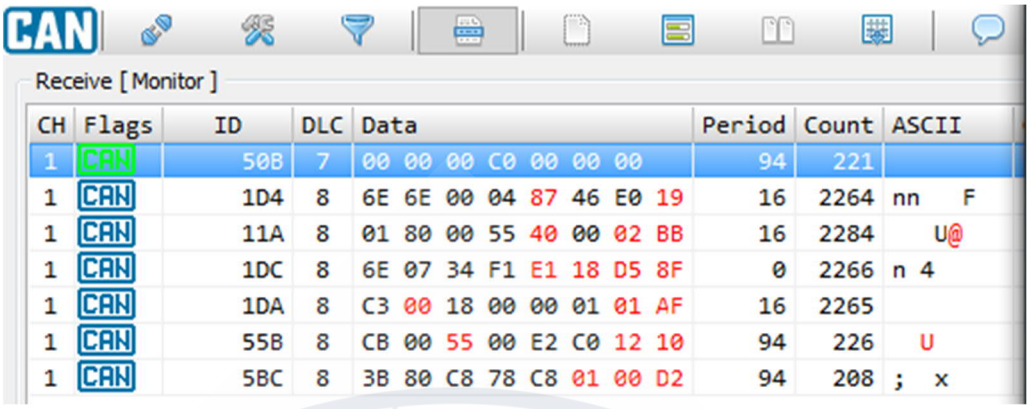


Рисунок 3.8. Потік даних по шині CAN.

Завдяки програмному забезпеченню ми одразу можемо помітити статичні адреси та динамічні. У динамічних адресах знаходяться лічильники, контрольні суми і дані про стан системи. Зазвичай у таких адресах дані про елементи гальванічних елементів високовольтної батареї не знаходяться. Але таких адресних стрічок ми маємо декілька. Використовуючи дані, які ми виміряли потенціометром переводимо 4.02 Вольта у шістнадцяти значну систему, і отримуємо результат E1F1, та, як можемо помітити, це значення відповідає адресі 1DC (рисунок 3.9), але у зворотному форматі. Отже, виміряна напруга співпадає з показниками модулів батареї.



CH	Flags	ID	DLC	Data	Period	Count	ASCII
1	CAN	50B	7	00 00 00 C0 00 00 00	94	221	
1	CAN	1D4	8	6E 6E 00 04 87 46 E0 19	16	2264	nn F
1	CAN	11A	8	01 80 00 55 40 00 02 BB	16	2284	U@
1	CAN	1DC	8	6E 07 34 F1 E1 18 D5 8F	0	2266	n 4
1	CAN	1DA	8	C3 00 18 00 00 01 01 AF	16	2265	
1	CAN	55B	8	CB 00 55 00 E2 C0 12 10	94	226	U
1	CAN	5BC	8	3B 80 C8 78 C8 01 00 D2	94	208	; x

Рисунок 3.9. Дані, які відповідають процесу балансування зарядку.

Методом підбору АТ-команд, отримуємо поступово дані про стан батареї.

Адреса 50B є командою для запиту, в якій вказується номер комірки, температура та стан модуля BMB. В середині такого модуля знаходиться три процесора, які паралельно можуть надавати данні про стан елементів (рисунок 3.10)

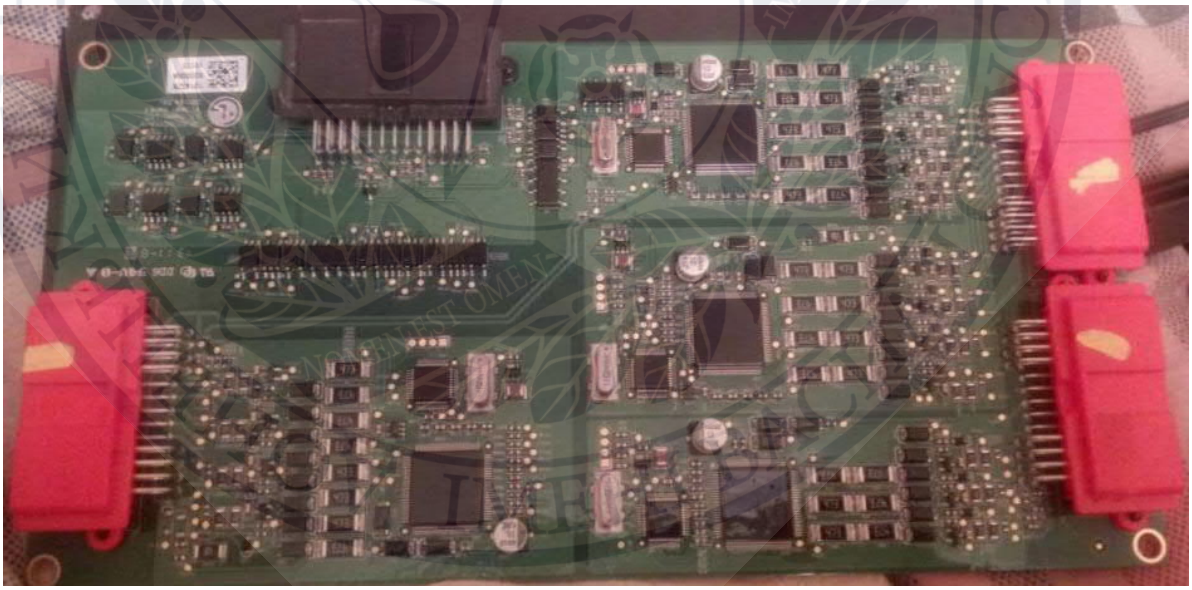


Рисунок 3.10. Плата керування автомобіля BMW.

Наступним етапом після декодування іде розробка програмного забезпечення. Тестовий варіант буде реалізований на основі платформи Arduino, а саме Arduino DUE, так як цей варіант має багатоканальні виводи кан-ліній, а

також достатній об’єм оперативної пам’яті для опрацювання усіх потрібних даних та виконання запитів.

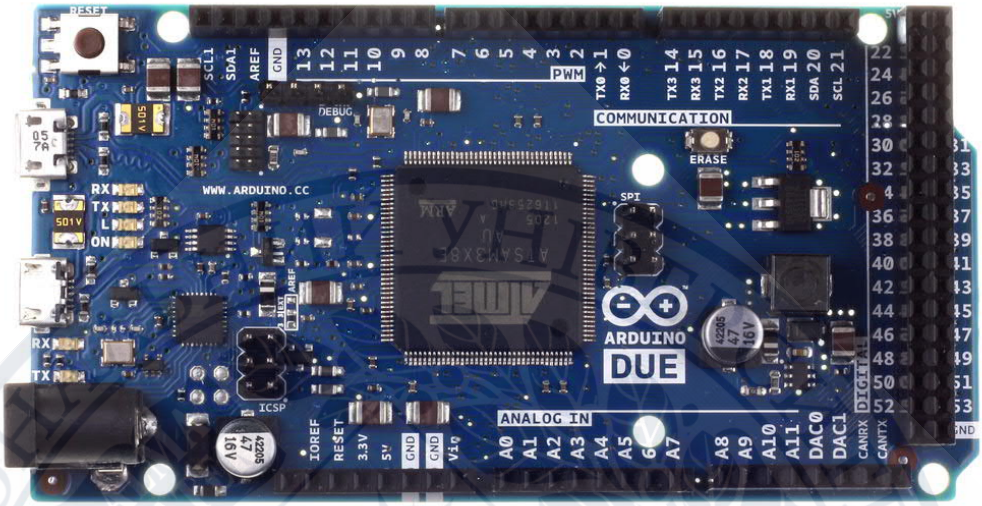


Рисунок 3.11 – Тестовий зразок контролера управління автомобіля на базі Arduino DUE.

Під час написання програмного коду постійно потрібно проводити тестування на силовій установці та системі балансування та моніторингу високовольтної батареї, так як мікроконтролер може не встигати надсилати потік даних або пропускати деякі команди, а так як в нас є вбудовані лічильники то це може бути критично.

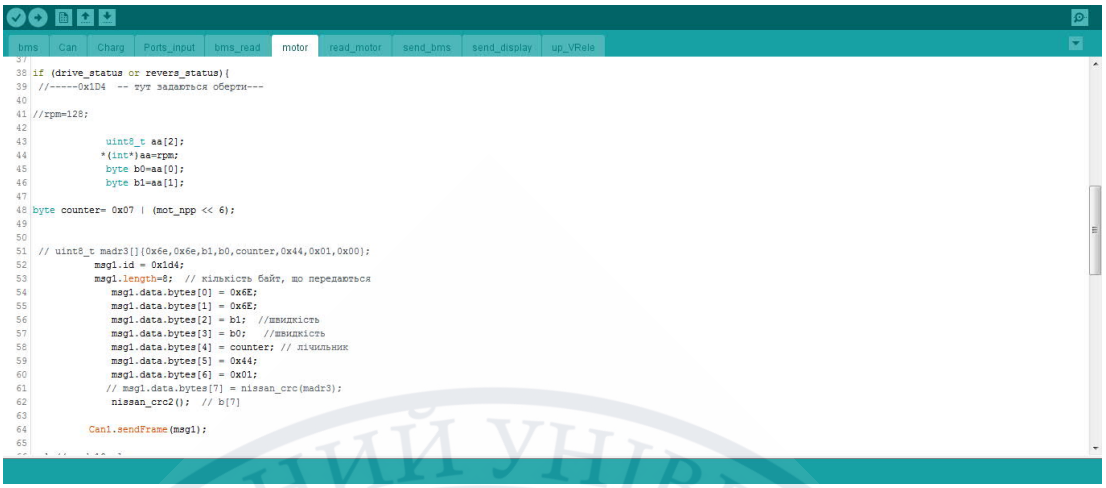


Рисунок 3.12 – Зразок програмного коду оптимізації заряду батареї.

Наступним етап – тестовий виїзд з перевіркою плати керування у різних умовах та впродовж довгого періоду часу. Також на тестовій прошивці вносяться корективи, які згодом стануть частиною основної прошивки, а саме такі корективи, як коефіцієнт швидкості оновлення, період балансування під час руху, а також час виконування попереднього заряду конденсаторів інвертора при першому пускові залежно від опору резистора чи ламп накалювання.

Нарешті, наступний і фінальний етап – це заміна тестового контролера на готовий, з інтегрованими реле для управління високовольтними контакторам та реле аварійного вимикання двигуна.

Також на плату керування вже інтегровані порти для отримання температурних даних та напруги елементів з високовольтної батареї та систем двигуна. Ніяких особливостей в себе цей етап не включає, так як всі роз’єми просто переносяться на нову плату управління в якій вже запрограмована коректна прошивка під дану модифікацію автомобіля.

Варто додати, що плата управління може використовуватись не лише в автомобільній промисловості, а й водно моторній та будівельній, так як система не потребує ніяких особливих деталей і може бути переобладнана під будь-який тип системи.

3.4Оптимізація заряду та моніторинг

Після тестування системи, а також налаштування потрібно вділити час користувацьким налаштуванням та візуальній складовій. Потрібно усі дані, які було знайдено у програмному кодові високовольтної батареї вивести на монітор для контролю стану батареї а також можливості прогнозування залишку ємності у батареї.

Вся візуальна складова, була реалізована на основі сенсорного дисплею некстіон з можливостю перепрограмування через UART Придбаний дисплей було встановлено в панель приладів замість непрацюючих датчиків температури та рівня палива (рисунок 3.13)



Рисунок 3.13. Приладова панель.

Дисплей підключається за допомогою чотирьох провідників до плати керування і вмикається разом із системою контролю та моніторингу високовольтної батареї, а також систем двигуна та зарядного пристрою.

Програмне забезпечення для дисплею написане власноруч індивідуально під даний проект і має декілька екранів.

Завдяки графічній складовій, можливо реалізувати візуальний моніторинг на екрані дисплею, а не лише в цифровому форматі. Таким чином, окрім даних у вигляді номера комірки високовольтної батареї ,а також напруги, додатково буде намальовано стрічку, яка буде мати свій діапазон від нуля до ста відсотків. Але, так як елемент не може мати напруги нуль або сто, потрібно прописати, що програмний рівень нуль на стрічці, рівний аналоговій напрузі 2.8 Вольта на комірку, а програмний рівень сто відсотків рівний напрузі 4.2 Вольта на комірку.

Таким чином малюємо власноруч графічну складову на всі 96 елементів з урахуванням меж для графічної реалізації, компілюємо даний проект, завантажуємо і отримуємо першу працюючу версію для моніторингу високовольтної батареї (рисунок 3.14)



Рисунок 3.14. Індикація заряду кожної комірки на приладовому щитку.

Як видно на рисунку, не всі елементи відобразились на дисплеї. Це пов’язано з тим, що послідовність підключення BMB модулів була порушена, тому один блок не відображається на екрані. Потрібно розібрати систему і виявити блок який не розуміє у якій частині високовольтного акумулятору він знаходиться.

У такій ситуації, яка трапилась, можна зрозуміти яка частина батареї має проблеми, так як у адресі 1DB відображається номер модуля та тип несправності,

яку він сам може діагностувати.

Існує декілька видів поломок BMB модуля, а саме:

- Внутрішня, зазвичай такі поломки є критичними і призводять до заміни блоку;
- Зовнішні, а саме пов’язані з гальванічними елементами високовольтної батареї або провідниками, які з’єднують їх з блоком моніторингу;
- Програмні, пов’язані з проблемами у програмному кодові.

У останньому випадку система не є несправною, вона просто звітує про те, що не розуміє команд якими BMS модуль до неї звертається.

Тому у ситуації, яка трапилась код помилки був 02, що сигналізував про неправильне фізичне підключення модуля до акумуляторного блоку високовольтної батареї.

Рішенням проблеми була заміна модулю номер 2 місцем з модулем номер 1. Схематично вони абсолютно однакові, але програмно мають розуміти де який модуль знаходиться для послідовної передачі інформації. (Рисунок 3.15)



Рисунок 3.15. BMB модулі, які підключені до аккумуляторів.

Після заміни місцями модуля BMB все стало відображатись коректно.

Тепер задача була поставлена таким чином: потрібно відобразити номер

комірки, яка в даний момент балансується.

За допомогою модернізації програмного коду, який керує графічною складової дисплею, було встановлено закономірність: якщо номер комірки, яка балансується співпадає під час оновлення з найбільшою по напрузі коміркою в пам’яті дисплея, то графічна стрічка, яка відповідає за цю комірку, змінює свій колір з зеленого на червоний.

Таким чином, з інтервалом оновлення один раз в секунду, при статичному стані, тобто коли авто не їде, на дисплеї покроково змінюються кольори комірок. Що означає що вони балансуються.

Також варто зазначити, що для оптимізації заряду літій-іонної батареї краще балансувати декілька комірок одночасно. Тому в програмному кодові були вказані деякі числові поправки, для одночасного керування та оновлення даних трьома BMB модулями.

Таким чином, замість однієї комірки за секунду, одночасно стали балансуватися три. Але це ще не поріг можливостей нашої системи. Кожен BMB модуль має можливість одночасно балансувати чотири комірки, тому завдяки запитам у адресу 1DB в певній послідовності, вдалося реалізувати можливість балансування одночасно дванадцяти комірок.

На жаль, до моменту реалізації цієї функції, високовольтна батарея вже самотужки збалансувалась і на момент фіксації підсумків та результатів вдалося сфотографувати, лише той момент коли одночасно балансувалось два елемента.(Рисунок 3.16)

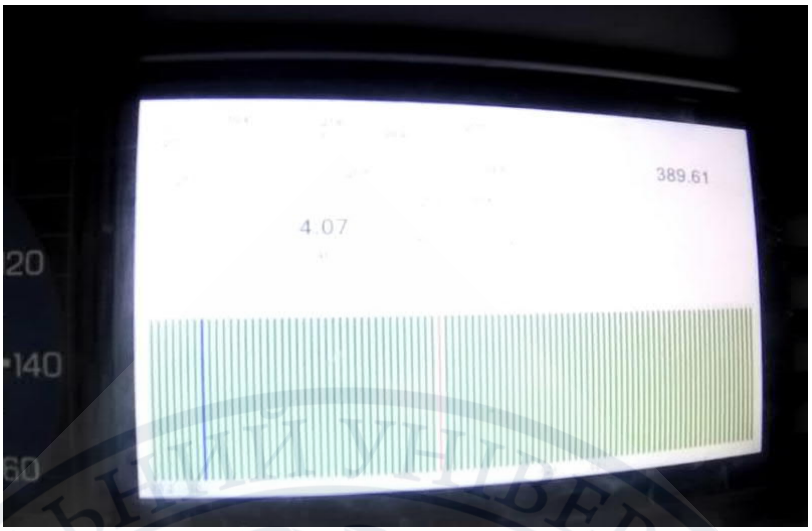


Рисунок 3.16. Індикація комірок з самим низьким зарядом (синя) та з самим великим зарядом (червона).

Таким чином, навіть у збалансованому вигляді система вже працює на 50% краще, а у критичних ситуаціях можливо підняття ККД аж до 250%.

Загалом варто зазначити, що за час побудови проекту, досліджень та вимірів високовольтна батарея змогла покращити свій стан і завдяки цьому тепер може віддавати на 2-3 кВт енергії більше ніж при початковому стані.

ВИСНОВКИ

Після проробленої роботи можна зробити висновки стосовно створеної системи керування та програмного коду. Безумовно, це найкраще рішення для реалізації транспортних засобів з електротягою з використанням високовольтних батарей. Аналогічно таку систему конроля можна використовувати на електричних суднах, гідроциклах, катерах а також на будівельній технічі, нассосах, лебідках, ліфтах та кранах. Система має можливості модифікацій та оновлення програмного забезпечення, тому на сьогоднішній день це найдоступніший та найнадійніший варіант контроллера з можливістю розширення своїх можливостей залежно від задачі . Варто додати, що плата управління може використовуватись не лише в автомобільній промисловості, а й водно моторній та будівельній, так як система не потребує ніяких особливих деталей і може бути переобладнана під будь-який тип системи. Загалом, за час реалізації проекту, та усіх вимірів і тестувань, зібраний автомобіль проїхав більше 10 000 кілометрів, жодного разу не зупинившись по причині збою програмного забезпечення. Такий показник, свідчить про надійність та продуктивність розробленої системи. Також за час експлуатації помітно виріс потенціал високовольтної батареї (виріс з 14,5 кВт до 16,5 кВт) та зменшився стан дисбалансу на комірках високовольтної батареї, яка за цей час пройшла більш ніж двохсот циклів заряд-розряду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Електромобілі. URL: https://studfile.net/preview/5741189/page:2/ (Дата звернення)
2. Як працює електричний автомобіль «Как работает электрический автомобиль?». мURL: https://www.electra.com.ua/elektroavtomobil/163-kak-rabotaet-elektricheskij-avtomobil.html (Дата звернення)
3. Принцип роботи електромобіля. URL: https://avtoinstruktor199.ru/news/kak-rabotaet-elektromobil/ (Дата звернення)
4. «Ecofactor». «Екофактор». Україна на електромобілях. URL: https://ukrainer.net/na-elektromobyliakh/ (Дата звернення)
5. Батарея електромобіля в холодну пору року. Чи знижується ємність? URL: https://iz.ru/811769/ignat-shestakov/dnem-s-ognem-ne-sadiatsia-li-batarei-na-elektromobile-zimoi (Дата звернення)
6. Як заряджати електромобіль? URL: https://moscowteslaclub.ru/charging/faq/ (Дата звернення)
7. Електромобіль з середини. Будова електромобіля. URL: http://systemsauto.ru/engine/electric-car.html (Дата звернення)
8. КАМАЗ: перший грузовий електромобіль. URL: https://www.autostat.ru/news/44435/ (Дата звернення)
9. Електромобілі від Hyundai и Kia. URL: https://www.vedomosti.ru/auto/articles/2019/04/18/799517-hyundai-electric-kia (Дата звернення)
10. AVR444: Керування трьохфазним безколекторним електродвигуном постійного струму без датчиків. URL: http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/app/micros/avr/AVR444.htm (Дата звернення)

11. Мікроконтролерна система управління трифазним електродвигуном. URL: http://www.votshema.ru/178-mikrokontrollernaya-sistema-upr-trehfaznym-dvigatelem.html (Дата звернення)
12. Мікроконтролерна система управління асинхронним трифазним електродвигуном. URL: https://radiostorage.net/4437-mikrokontrollernaya-sistema-upravleniya-asinhronnym-trekhfaznym-dvigatelem.html (Дата звернення)
13. Управління трифазним двигуном в однофазній мережі (PS11036, IRPT2060A, IR2130). URL: https://radiostorage.net/4835-upravlenie-trekhfaznym-dvigatelem-v-odnofaznoj-seti-ps11036-irpt2060a-ir2130.html (Дата звернення)
14. Активне балансування Li-ion акумуляторів. URL: https://kravt-studio.com/blog/balansirovka-liion (Дата звернення)
15. Система керування батареєю електромобіля (Battery Management System). URL: https://www.electra.com.ua/otovarah/sistema-upravleniya-batareej-bms.html (Дата звернення)
16. BMS контролер. URL: https://batteryzone.ru/accumulator/bms-kontroller (Дата звернення)