

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. Нескородева  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022р.

УНІВЕРСАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПЕРЕОБЛАДНАННЯ  
АВТОМОБІЛІВ НА ЕЛЕКТРОТЯГУ

Спеціальність 105 Прикладна фізика та  
наноматеріали

Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник:  
Чернов Д.В. к.т.н.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Оцінка: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

(бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою)

Голова ЕК: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(підпис)

м. Вінниця – 2022 р.

## АНОТАЦІЯ

**Поповський Т.Ю.** Автоматизована електронна система керування електромобіля. Спеціальність 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» Освітня програма «Технології Інтернет речей» Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, 2022.

У кваліфікаційній роботі досліджено методи та варіанти переобладнання будь-якого транспортного засобу на електричну тягу з подальшою можливістю модифікації силових вузлів та агрегатів під будь-яку технічно можливу компоновку.

Метою роботи є створення універсальної системи керування силовими агрегатами електромобіля для подальшого конструювання та встановлення в інші транспортні засоби з можливістю індивідуального модифікування компоновки та функцій.

Результатом роботи став Конструктивно змінений автомобіль, переобладнаний завдяки самостійно розробленій системі на основі власних досліджень та програмно розробленої системи керування з силовими агрегатами електромобілів Nissan, Chevrolet, Tesla.

Ключові слова: Електромобіль, електродвигун, електрична силова установка, високовольтна літій-іонна батарея, зарядний пристрій, електрика, електроніка, програмування, конструювання.

59 с, 24 рис, 45 джерел

**Popovsky T.Y.** Automated electronic electric vehicle control system. Specialty 105 "Applied Physics and Nanomaterials" Educational Program "Technology of the Agent of Things" Donetsk National University named after Vasyl Stus, Vinnytsia, 2022.

The qualification work investigated methods and options for converting any vehicle to electric traction, followed by the possibility of modifying power units and units for any technically possible company.

The purpose of the work is to create a universal control system for electric vehicle power units for further design and installation in other vehicles with the possibility of individual modification of the company and functions.

The result of the work was a structurally modified car, converted thanks to a self-developed system based on its own research and a software-developed control system with power units of electric cars Nissan, Chevrolet, Tesla.

**Keywords:** electric car, electric motor, electric power plant, high-voltage lithium-ion battery, charger, electricity, electronics, programming, design.

59 s, 24 rice, 45sources



## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	2
РОЗДІЛ 1 .....	7
ОГЛЯД ДОСТУПНОСТІ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ВТОРИННОГО .....	7
ВИКОРИСТАННЯ АГРЕГАТИВ .....	7
1.1 Переваги і недоліки універсальної системи керування .....	7
1.2 Типи тягових електродвигунів .....	10
1.3 Схеми управління тяговими електродвигунами .....	14
1.4 Напівпровідникові силові ключові пристрої .....	17
1.5 Види зарядних пристроїв .....	19
1.6 Корегування струму заряду ВВБ .....	24
РОЗДІЛ 2 .....	33
Підготовка до побудови універсальної системи керування .....	33
2.1 Огляд протоколів передачі даних .....	33
2.2 Види взаємодії електронних блоків та безпека керування електромобілем .....	35
РОЗДІЛ 3 .....	38
Практична частина .....	38
3.1 Вибір обладнання .....	38
3.1 Монтаж, встановлення, активація .....	40
3.2 Декодування та дослідження програмного коду .....	45
3.3 Оптимізація заряду та моніторинг .....	50
ВИСНОВКИ .....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	56
ДЕКЛАРАЦІЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ .....	60

## ВСТУП

На сьогоднішній день використання електромобілів у розвинених країнах поступово набирає обертів. За даними статистичних досліджень ринок електромобілів за 2021 рік показує високий зріст, а саме – 127 відсотків.

Світовий парк екологічно чистих автомобілів зараз нараховує близько 1800000 одиниць, український при цьому – всього лише 5000 електромобілів. Тому постає проблема запровадження електромобілів в Україні.

Електромобіль – автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів або паливних елементів, а не двигуном внутрішнього згорання. Електромобіль слід відрізнити від автомобілів з двигуном внутрішнього згорання та електричною передачею і від тролейбусів [1].

У світі є безліч виробників автомобілів та комплектуючих, які розраховані на певний термін експлуатації, але не один виробник не враховує той момент, що їх агрегати можуть використовуватись у альтернативних напрямках, навіть навпаки, кожен виробник конструює агрегати та автомобілі з мінімальним запасом міцності. Робиться це для того, що б агрегат чи вся система в зборі, по закінченню строку своєї дії вийшла з ладу, і користувач через велику вартість ремонту або відсутність доступних варіантів рішень намагається придбати новий автомобіль чи агрегат. Одним словом, виробники орієнтуються зараз не на якість а на кількість та обмежений час експлуатації заради фінансової вигоди.

Актуальність роботи полягає в том, щоб зробити дешеву систему для переобладнання автомобілів з двигунами внутрішнього згорання на електричну тягу.

**Мета дослідження:** створення універсальної системи керування силовими агрегатами електромобіля для подальшого конструювання та

встановлення в інші транспортні засоби з можливістю індивідуального модифікування компоновки та функцій.

**Об'єкт дослідження:** електромеханічна система керування електроавтомобіля-

**Предмет дослідження:** система зарядки та перетворення енергії електромобіля, конструктивні вузли електромобіля.

**Завдання:** розробити та дослідити універсальну систему керування силовими агрегатами електромобіля та модифікувати її для використання у транспортних засобах які раніше пересувалися за допомогою двигунів внутрішнього згорання.

Апробація результатів: дослідження опубліковано в збірнику доповідей I Міжнародної науково практичної конференції «Прикладні аспекти сучасних міждисциплінарних наукових досліджень», 18 листопада 2022 року, м. Вінниця.

Результатами дослідження є Конструктивно змінені вузли, переобладнані завдяки самостійно розробленій системі на основі власних досліджень та програмно розробленої системи керування з силовими агрегатами електромобілів Nissan, Chevrolet, Tesla.



# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ДОСТУПНОСТІ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ВТОРИННОГО ВИКОРИСТАННЯ АГРЕГАТІВ

### 1.1 Переваги і недоліки універсальної системи керування

Розглянемо ситуацію яку маємо на ринку транспортних засобів на сьогоднішній день, виробники орієнтуються зараз не на якість а на кількість та обмежений час експлуатації заради вигоди. Але у наших реаліях придбати новий електромобіль не є можливим для багатьох українців, тому деяка частина людей шукає альтернативні рішення за для вигоди та економії своїх коштів, а саме можливість власноруч зібрати транспортний засіб для своїх потреб чи модифікувати вже існуючий автомобіль на електротягу [1].

Чому саме електротягу? На даний момент під час нестабільної ситуації у країні та високих цін на пальне, більшість людей задумались про економію власних коштів, а саме коштів які використовуються на засоби пересування, так як більшість людей використовують автомобіль для того що б доїхати з дому на роботу чи з роботи у інше місце, з урахуванням заторів звичайний автомобіль з ДВЗ не є вигідним у даних межах експлуатації, так як ДВЗ потребує регулярного обслуговування, та пі д час простою у заторах двигун працюючи на холостому ходу використовує пальне, що є не ефективно, навіть системи старт-стоп не зможуть компенсувати витрати [2] . Тому електромобіль у міських та приміських межах є самим оптимальним рішенням, але на жаль з початком дестабілізації країни та збільшенням цін на пальне, зросли й ціни на електромобілі так як збільшився попит, загалом проаналізувавши популярні сайти для продажу автомобілів , вдалося з'ясувати , що ціни на електромобілі зросли від 25% до 40%, залежно від сегменту та типу кузова. Наприклад комерційні електромобілі збільшились майже на 40% , так як власники малого та середнього бізнесу зрозуміли, що зовсім не вигідно виконувати розвезення

продуктів на звичайних бензинових та дизельних автомобілях, а так як зросли ціни на заводські комерційні електромобілі, більшість власників малого й середнього бізнесу не можуть дозволити собі їх придбати, не кажучи вже про звичайних людей які не мають пасивного доходу. Тому у даній ситуації стає питання альтернативного варіанту, який міг би бути компромісом для цієї проблеми [3].

Так як для вирішення проблеми є обмежений бюджет, стає питання, чи можливо зібрати електромобіль власноруч або за наявності «донорського» кузова? «донорські» автомобілі є дуже популярні на нашому ринку, так як 60% автопарку який представлений у продажу це є закордонні бренди, запчастини до яких не дешеві, тому в деяких випадках власник автомобіля у якого вийшов з ладу двигун чи коробка передач, продає авто у стані «як є» , тобто не на ходу та зі зламаними комплектуючими [1].

Тому десь на цій стадії і з'являється ідея переобладнання автомобіля з непрацюючим двигуном чи іншим агрегатом у економічно вигідний електромобіль. На ринку запчастин представлено багато варіантів під розборку на запчастини чи попарно комплектуючі з одного автомобіля, але дуже великим питанням стає контролер до всієї начинки майбутнього проекту, так як придбані запчастини можуть бути взагалі з інших електромобілів чи навіть гібридів , і просто не зможуть працювати разом, із за багатьох підводних каменів та інших нюансів. Також серйозних проблем у запуску системи завдають відсутність інших електронних компонентів які автомобільний блок керування чекає на зв'язку для дозволу запуску системи. Тобто доукомплектовувати непотрібні та дорогі блоки керування не є оптимальним рішенням [3].

Сучасний світ важко уявити без великої кількості автотранспорту, тому з метою дотримання еколого-економічного балансу повинно бути розроблено багато заходів спрямованих на поліпшення якості атмосферного повітря, одним із них є запровадження електромобілів на заміну звичайним.



Електромобіль є вигідною інвестицією. Цей автомобіль є екологічним та економічним. В електромобілі немає технічного обслуговування, заміни мастил, заміна зношуваних частин. Там в 2,5 рази менше комплектуючих, менше деталей. В електромобілі немає техобслуговування. Змінювати фільтри потрібно через 30 тисяч пробігу [2].

Процес купівлі електромобіля практично нічим не відрізняється від придбання інших типів транспорту. У економічності машини з електродвигуном сумніватися не доводиться – як би не дорожчала електроенергія, ціни на бензин вона не наздожене.

Найбільш відомим BEV (електромобілі на батареях), які, зазвичай, спадають на думку, коли мова йде про електричні авто. Вони використовують великий акумулятор для живлення електродвигунів, ці авто працюють виключно від електрики. Одним з недоліків такого типу авто є їх повна залежність від зарядних станцій.

В свою чергу PHEV (Плагін-гібридні електромобілі), які поєднують традиційний ICE (двигун внутрішнього згорання) з електродвигуном і акумулятором меншого розміру. Якщо ж вам потрібно їхати далі, бензиновий двигун запуститься автоматично і одразу під час руху почне заряджати акумулятори за допомогою генератора. Як і BEV, вони можуть бути підключені до електромережі для підзарядки акумулятора.

EREV (електромобілі з подовженим пробігом між зарядками) діють подібним чином, але з іншою механічною філософією. По суті, вони їздять як й електромобілі на батареях, використовуючи електродвигун для пересування. Але, як і плагін-гібридні, вони мають двигун внутрішнього згорання [2, 3].

Після придбання комплектуючих людина починає шукати «рішення», яке було б оптимальним для придбаних комплектуючих, на жаль готових рішень не багато, правильно було б сказати взагалі немає, зазвичай люди шукають дешеве та просте рішення для реалізації,

наприклад просто взяти рідні блоки керування, встановити їх та підключити і таким чином користуватися, але сучасні системи електромобіля потребують синхронізації компонентів та програмування блоків керування, для роботи та уникнення неполадок під час експлуатації агрегатів.

## **1.2 Типи тягових електродвигунів**

Виключне місце в даному комплексі займає двигуни постійного струму з послідовним збудженням. Такий вид транспорту набув широкого поширення на міському і магістральному рейковому сполученні, велика частина всіх експлуатованих тягових електроприводів мали єдиний принцип, отже, була накопичено теоретична і практична база для роботи з ним.

В сучасних електромобілях використовуються електродвигуни [20] (рис.1.4) змінного та постійного струмів, які відрізняються за принципом роботи і кількістю фаз живлення

Також важливим є, що система тягового електропостачання на постійному струмі з використанням перетворювальних тягових підстанцій найбільш придатна до експлуатації за сукупними властивостями. У той же час використання даної системи пов'язано з великими втратами енергії

### **Двигуни змінного струму**

Електродвигуни змінного струму є найбільш затребуваними. Їх частіше можна зустріти як в побутових, так і в промислових умовах. Вони поділяються на синхронні та асинхронні, бувають однофазними і трифазними.

Синхронні двигуни змінного струму. Число оборотів в хвилину їх ротора дорівнює частоті обертання МП. Це забезпечує стабільну швидкість двигунів даного типу. Застосування досить широко: компресори, насоси, генератори, вентилятори і т. д.

У асинхронний електор двигунах частота обертання магнітного поля не



співпадає з кількістю оборотів в хвилину ротора. Існує два види подібних двигунів змінного струму: з короткозамкненою рухомою частиною і з фазною. В залежності від типу електроланцюга, асинхронні двигуни поділяються на однофазні і трифазні. Чим відрізняються? Перші частіше використовуються в побутових умовах, а другі актуальні для промислових об'єктів. Асинхронні електродвигуни АИР випускаються в обох варіантах.

Ключові переваги:

- універсальність до експлуатації;
- величезна різноманітність моделей;
- ремонтпридатність, надійність корпусу;
- невеликі габарити при високій потужності;
- низький рівень видаваного шуму;
- високий ККД і тривалий термін служби.

При поєднанні обмоток статора в трикутник двигун розвиває великі оберти, що необхідно під час руху по шосе, при поєднанні в зірку збільшується момент на валу — це потрібно при прискоренні чи під час руху на підйом. Перемикання обмоток зірка — трикутник аналогічно переключенню швидкостей в коробці передач [5].

Також має своє місце такий тип ТЕД як мотор-колесо [22]. Перевагою вантажних електромобілів, де в якості ТЕП виступають мотор-колеса, є [23] високі динамічні показники, спрощення конструкції автомобіля, досягнення плавного ходу, підвищення маневреності автомобіля, можливість паркування в складних умовах та миттєве адаптування до дорожнього покриття.

### **Електродвигуни постійного струму**

Переважає більшість електричних двигунів є двигунами обертального руху. Вони складаються з нерухомої частини (статора) та рухомої (ротора). Ротор починає обертатися після подачі живлення до обмоток двигуна. Проте для низки механізмів, які виконують поступальний або зворотно-поступальний



рух (супорти та столи металорізальних верстатів, деякі транспортні засоби), з метою спрощення конструкції механічної частини електропривода іноді використовують лінійні двигуни. Рухома частина таких двигунів (вторинний елемент або бігун) здійснює лінійне переміщення.

Індуктор електродвигуна постійного струму служить для створення нерухомого магнітного поля машини і складається з станини, головних і додаткових полюсів. Станина служить для кріплення основних і додаткових полюсів і є елементом магнітного ланцюга машини. На головних полюсах розташовані обмотки збудження, призначені для створення магнітного поля машини, на додаткових полюсах - спеціальна обмотка, що служить для поліпшення умов комутації.

Якір електродвигуна постійного струму складається з магнітної системи, зібраної з окремих листів, робочої обмотки, покладеної в пази, і колектора службовця для підведення до робочій обмотці постійного струму.

Колектор являє собою циліндр, насаджений на вал двигуна і обраний з ізольованих один від одного мідних пластин. На колекторі є виступи-півники, до яких припаяні кінці секцій обмотки якоря. Знімання струму з колектора здійснюється за допомогою щіток, що забезпечують ковзний контакт з колектором. Щітки закріплені в щеткодержателях, які утримують їх в певному положенні і забезпечують необхідне натискання щітки на поверхню колектора. Щітки і щіткотримачі закріплені на траверсі, пов'язаної з корпусом електродвигуна. В електроприводі звичайно виникає задача автоматичного керування електричним двигуном. У найпростіших випадках достатньо лише забезпечити їхній запуск, зупинку, зміну напрямку обертання та захист від аварійних режимів [6, 8].

Електроприводи, до складу яких, окрім двигуна, входять керовані перетворювачі енергії та системи автоматичного керування, здатні виконувати виробничу задачу за мінімальної участі людини. Вони отримали назву

автоматизованих електроприводів.

### **Безколекторні електродвигуни постійного струму**

Безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) отримали широке розповсюдження завдяки розвитку електроніки і, в тому числі, завдяки появі недорогих силових транзисторних ключів. Також важливу роль зіграла поява потужних рідкоземельних постійних магнітів NdFeB та SmCo. Ідея безколекторного двигуна з'явилася на зорі електротехніки та електромеханіки. Але, в силу неготовності технологій, чекала свого часу до 1962 року, коли з'явився перший комерційний безколекторний двигун постійного струму. Понад півсторіччя існують різні серійні реалізації даного типу електроприводу. В останні 10 років реалізація та ринок безколекторних двигунів розвивається значно швидше, ніж ринок машин з постійними магнітами інших типів. БДПС мають переваги традиційних ДПС, але за рахунок відсутності колектора більш надійні та не мають обмежень по частоті обертання. В порівнянні з асинхронними двигунами мають наступні переваги: високий коефіцієнт корисної дії та вищий коефіцієнт потужності.

Найчастіше в електромобілях ставлять синхронні електродвигуни – безколекторні машини, в яких відношення частоти обертання ротора до частоти струму в ланцюгу машини не залежить від навантаження. Статистика показує, що виробники електромобілів ставлять два електродвигуни – по одному на задню та передню осі автомобіля. Як, наприклад, в Porsche Taycan. Він має 2 синхронні двигуни змінного струму на передній та задній осі. Але також використовують асинхронні електродвигуни. Частіше усього трьохфазні, як у Блок підсистеми автономного керування електромобілем містить в собі блок датчиків, а також систему автопілотування.

Датчики захоплюють зображення навколишнього середовища, в якому знаходиться електромобіль і передають масив даних в підсистему керування

напрямом і швидкістю. Після підрахунку траєкторії руху, система дає сигнал на двигун збільшити або зменшити оберти для збільшення чи зменшення швидкості автомобіля. [3, 4]

### 1.3 Схеми управління тяговими електродвигунами

Схеми управління тяговими електродвигунами регулюють обороти і момент на валу, обмежують максимальний струм. Використовуються електроприводи постійного і перемінного струму. Принаймні після появи нових електронних компонентів змінюється технологія приводу, виробники електромобілів експериментують з різними схемами, домагаючись максимальної ефективності. Найвища вимога:

- плавне регулювання числа оборотів в усьому діапазоні;
- високий ККД;
- можливість рекуперації під час гальмування;
- захист від перенавантажень перенесених від перегріву;
- високий момент на старті;
- можливість реверсу.

Блок підсистеми автономного керування автомобілем для зчитування інформації про навколишній світ містить лідари, радары, камери, GPS-датчики, датчики в середині салону та модуль LTE.

Загалом сенсори електромобіля збирають інформацію про навколишні об'єкти, а саме розмір, відстань до автомобіля, швидкість руху, якщо це дорожні знаки – то ідентифікують знак та передають відповідну команду. Також сенсори зчитують інформацію про пішоходів, велосипедистів, інших учасників руху для того аби безпечно пересуватись.

Лідари сканують навколишній світ та створюють модель (карту об'єктів)



навколишніх об'єктів, що знаходяться навколо машини.

### Електропривод керування двигуном постійного струму

Схема показана на Рис.1.2 оберти електродвигуна регулюються величиною подаваної напруги. Якщо двигун живиться напругою 300 Вольт, то в середній точці напруга може знаходитися в межах від 0 до 300 Вольт. Мікроконтролери зазвичай мають межу вимірювання 5 В. Без схем узгодження рівнів сигналів не обійтися. Підвищивши напруга живлення двигуна, слід змінити і дільники напруги в ланцюгах узгодження.

В іншому випадку напруга може перевищити допустиме значення і вивести зі строю мікроконтролер. Для запобігання таких ситуацій додатково застосовують схеми захисту.

Присутність дільника напруги веде до зниження чутливості на малих обертах двигуна, а наявність фільтрів вносить затримку. Затримка є причиною похибок у визначенні положення ротора і може стати критичною для управління двигунами на високих швидкостях. Оскільки схема з віртуальною середньою точкою досить не стабільна, можна вдаватися до іншої схеми, де стабільна напруга середньої точки встановлюється окремо і залежить від напруги живлення.

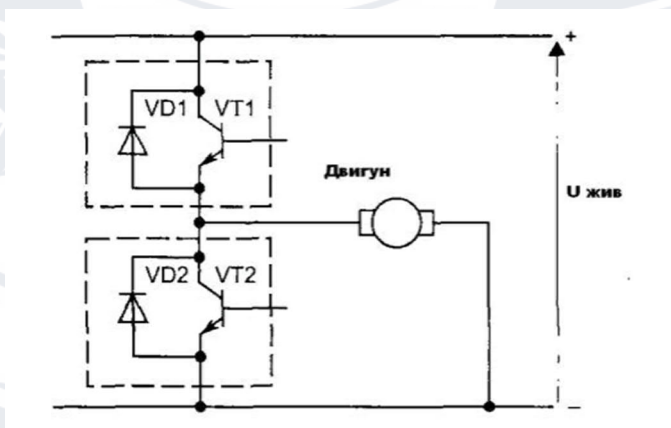


Рис1.2. Схема підключення двигуна постійного струму [7]

Зарядний струм регулюється коефіцієнтом шпаруватості перетворювача

постійної напруги на транзисторі V1 [7].

### **Схема керування безколекторних двигунів постійного струму**

Це одне з досягнень сучасної силової електроніки. На роторі електричної машини розміщені постійні магніти, на статорі — обмотки. Для обертання ротора обмотки по черзі підключаються до джерела живлення електронним комутатором.

На першому етапі P1 на фазу V подається "+", мінус - на фазу U. При цьому напруга на фазі W починає рости і в середині періоду P1 перетинає нульову точку - половину напруги між фазами V і U, тобто половину напруги живлення. Як видно з діаграми, зміна стану ключів потрібно виконати на половині періоду між подією перетину нульової точки (ZC). Після перемикавання стану ключів (етап P2) вимірювання виконуємо на вільній фазі V. Зверніть увагу на те, що напруга на вільній фазі може рости або падати. Це доведеться враховувати при роботі компараторів. Таким чином, наш регулятор повинен пам'ятати на якому етапі від P1 до P6 знаходиться, і переходити до наступного стану, виходячи з розрахунків часу, обчислених між подіями ZC.

На Рис.1.3. показана схема підключення електродвигуна до інвертора. Інвертор складається з трьох паралельних гілок із двома послідовними ключами у кожному. Ключі зашунтовані зворотними діодами для проходження реактивного струму. Трифазна напруга генерується послідовною комутацією ключів. Наприклад, ключі 1, 2, 3 замикаються одночасно, це підключає фазу «с» до позитивної шини акумулятора, а фази «а» і «b» — до негативної. Одночасне замикання, наприклад, ключів 1 і 4 неприпустимо, оскільки це замкне акумуляторну батарею.

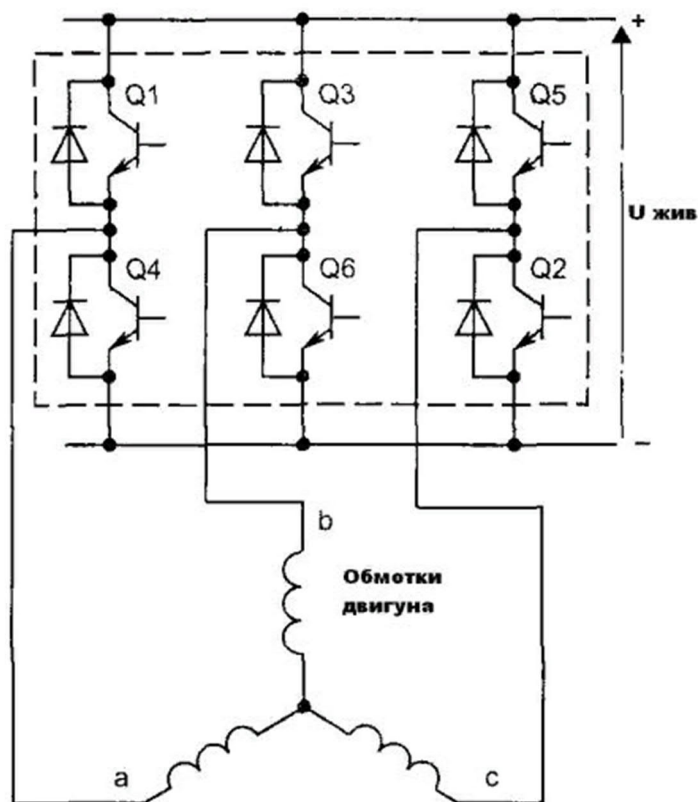


Рис1.3.. Схема підключення електродвигуна змінного струму [7]

Ключі комутуються в такій послідовності: 123, 234, 345, 456, 561, 612, 123... При такому алгоритмі роботи інвертора напруги на його виходах прямокутні і регулювання струму двигуна відсутнє. Для регулювання струму використовується широтна-імпульсна модуляція. Синусоїдний сигнал на частоті основної гармоніки порівнюється зі високочастотним розгортаючим сигналом трикутної форми [7].

#### 1.4 Напівпровідникові силові ключові пристрої

На даний момент, більшість систем керування двигуном транспорту представлено імпульсною системою управління, замість реостатноконтаторної системи управління. Даний перехід на імпульсну систему управління ґрунтується на безлічі важливих проблем, які вдалося вирішити,



використовуючи в імпульсному режимі.

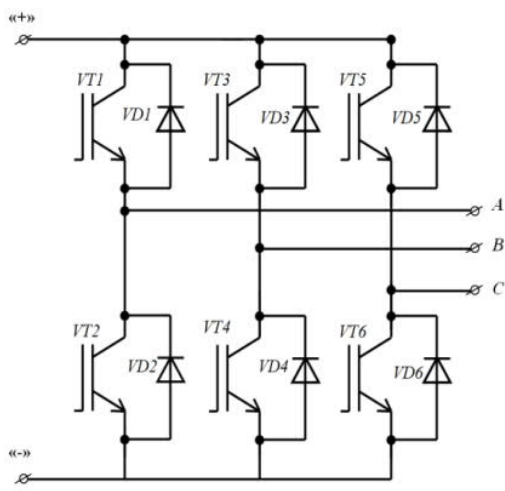
Імпульсне регулювання тягового електродвигуна засноване на подачі напруги живлення на цей самий двигун окремими імпульсами, які утворюються за рахунок використання силових напівпровідникових приладів (електронних ключів).

Як говорилося вище, силовий перетворювач може бути розроблений на основі транзисторів, так і тиристорів. Однак перевага надається IGBT-транзисторам, які в силових перетворювачах мають кілька важливих переваг порівняно з тиристорами [6]:

- час замикання тиристорів вимірюється десятками та сотнями мікросекунд, у той час як для IGBT-транзисторів ця величина становить десятки та сотні наносекунд;
- IGBT-транзистори можуть працювати за більш високих температур;
- схематичне розв'язання задачі (наприклад, побудова принципової схеми трифазного інвертора) легше уявити за допомогою IGBT-транзисторів.

Схеми з урахуванням тиристорів складніше побудувати, оскільки тиристори вимагають наявності вузлів примусової комутації, які з конденсаторів C1- C6, і діодів VD1-VD6, Рис. що усувають вплив цих вузлів один на одного. Ці вузли потрібні для замикання тиристорів, адже, на відміну від транзисторів, тиристори не можна закрити простим зняттям керуючого сигналу з керуючого електрода. Крім цього необхідно додати зворотну напругу.

Основним із важливих недоліків IGBT-транзисторів у порівнянні з тиристорами є ціна перших.



*Рис.1.4.– Принципова електрична схема інвертора на базі тиристорів*

Застосування транзисторів, як електронних ключів, дозволяє здійснювати широтну модуляцію напруги, що важливо при здійсненні частотного пуску двигуна. Адже в даному процесі необхідно дотримуватися відомого співвідношення між величинами напруги живлення і його частотою. Вище вже було розглянуто основи широтно - і частотно - імпульсного регулювання управління двигуном постійного струму. На відміну від ДПС, для керування двигуном змінного струму форма кривої середньої напруги, що живить двигун, повинна бути синусоїдою:

- а) необхідна форма кривої напруги;
- б) необхідна форма імпульсів при широтно-імпульсній модуляції, для отримання кривої середньої напруги.
- с) необхідна частота імпульсів при частотно-імпульсній модуляції для отримання кривої середньої напруги.

## 1.5 Види зарядних пристроїв

Класичним прикладом зарядного пристрою є досить повільний прилад, якому для зарядки акумулятора часом потрібна вся ніч. Це сходить до давніх

часів, коли простий зарядний пристрій для літій іонного акумулятора мало постійну фіксовану силу заряду в 0.1S (одну десяту від номінальної ємності).

Такі зарядні пристрої не мали функції виявлення повного заряду, а для його досягнення потрібен час від 14 до 16 годин. Досягнення повного заряду N Ca фіксувалося невеликим підвищенням температури акумулятора. Для ММН акумулятора такий алгоритм зарядки не підходить через зниженої здатності поглинати надмірний заряд. Сучасні недорогі зарядні пристрої для типорозмірів AA, AAA і C часто використовують саме цей алгоритм, тому в разі необхідності постійної автономної готовності до роботи пристрою, слід запаситися кількома комплектами акумуляторних батарей. Також при експлуатації такого зарядного пристрою необхідно стежити за температурою акумуляторів. Якщо брати до уваги швидкість зарядки, то зарядні пристрої можна розділити на три групи - з повільною, середньою і швидкою зарядкою. Зарядний пристрій із середнім часом зарядки, який становить 5-6 годин, в основному використовується для споживчих пристроїв. Як правило, у нього є вбудована система виявлення повного заряду і датчик температури для забезпечення більш безпечного процесу зарядки.

### **Пришвидшені зарядні пристрої**

Швидкі зарядні пристрої мають ряд переваг і найочевиднішим з них є швидкість зарядки. Можливість реалізації цих переваг передбачає більш тісний зв'язок між зарядним пристроєм і акумулятором. При швидкості зарядки в 1S яку зазвичай використовує швидкий зарядний пристрій, повністю розряджений нікель-кадмієвий або нікель-метал-гідридний акумулятор можуть зарядитися всього лише за одну годину. У міру того як акумулятор наближається до повного заряду, деякі зарядні пристрої для нікель-кадмієвої електрохімічної системи зменшують зарядний струм, щоб уникнути негативних ефектів перезаряду. Повністю заряджений акумулятор перемикає зарядний пристрій у



режим крапельної підзарядки, також відомої як обслуговуючий заряд. Більшість сучасних зарядних пристроїв для нікель-кадмієвої електрохімічної системи мають алгоритм зарядки і для нікель-метал-гідридної, який відрізняється відсутністю режиму крапельної підзарядки. "Літій-іонні акумулятори мають мінімальні втрати енергії під час зарядки, їх кулонівська ефективність становить близько 99 відсотків. При зарядці силою струму в 1S вони досягають 70 відсотків заряду менше ніж за годину, інше час займає зарядка в режимі насичення. Режим насичення для літій-іонного акумулятора дещо відмінний від того ж режиму для свинцево-кислотного, і насправді навіть краще трохи не до заряджати літій-іонний акумулятор - це збільшить його довговічність, хоч і дещо зменшить час автономної роботи [9].

З усіх зарядних пристроїв саме зарядний пристрій для літій-іонної електрохімічної системи найбільш просте. Воно просте настільки, що не існує навіть "диво зарядних пристроїв, що покращують продуктивність", як для свинцевих і нікелевих акумуляторів. Тільки режим CC/CU підходить для зарядки літій-іонної електрохімічної системи. Свинцево-кислотні акумулятори не можуть бути швидко заряджені, і визначення «швидка зарядка» по відношенню до них дуже умовно. Більшість зарядних пристроїв для свинцево-кислотних акумуляторів мають цикл заряду приблизно в 14-16 годин, що обумовлено особливостями цієї електрохімічної системи. Зарядка до 70 відсотків займає приблизно 8 годин, решта часу відбувається дуже важлива для цих акумуляторів зарядка в режимі насичення. Режим підзарядки, що переважає при експлуатації стартерного свинцево-кислотного акумулятора в автомобілі, є найбільш кращим, оскільки дозволяє використовувати сильні сторони такого акумулятора і оберігає його від процесів сульфатації. Сила струму в холостому режимі зарядного пристрою повинна бути якомога нижче для економії енергії [9].

Існує система п'ятибального оцінювання цієї енергоефективності,

пристроєм для мобільних телефонів та інших гаджетів певної кількості зірок. П'ять зірок отримують зарядні пристрої з потужністю холостого режиму в 30 мВт і менше; чотири зірки відповідають за діапазон 30-150 мВт; три зірки - 150-250 мВт; дві - 250- 350 мВт. Зарядні пристрої з ще більшою холостою потужністю отримують, відповідно, найнижчу оцінку - одну зірку [9].

Літій-іонні акумулятори добре підходять для використання не тільки в портативній електроніці, такій як смартфони і ноутбуки, але і в електромобілях. Вони мають хорошу щільність енергії і (відносно) легкі, що дозволяє вичавити максимальний запас ходу з будь-якої батареї, що встановлюється в електромобілі. Хоча основні хімічні властивості батареї можуть бути однаковими, спосіб їх розрядки і перезарядки істотно впливає на термін їх служби. Зарядка від 0% до 100% є найбільш інтенсивним варіантом використання літій-іонної батареї. За словами Ісидора Бухманна (Isidor Buchmann), засновника Cadex Electronics і автора Battery University - освітнього джерела акумуляторної технології - літій-іонні акумулятори можуть циклічно заряджатися приблизно 500 разів, перш ніж почнеться серйозна деградація [10].

Деякі власники електромобілів і зокрема, Nissan Leaf, вважають, що прискорені зарядки за допомогою надпотужного порту CHAdeMO скорочують термін служби батареї. Зазначимо, що зокрема, виробник рекомендує виконувати не більше однієї подібної зарядки в день. А ось фахівці служби таксі розповіли, що свої автомобілі вони практично завжди заряджають саме через CHAdeMO і їхні батареї досі перебувають у повністю робочому стані. Правда, при такому режимі експлуатації важливо дотримуватися маленьких хитрощів: при регулярному використанні надпотужної зарядки, потрібно обов'язково раз на тиждень підживлювати «батарею» повільною зарядкою, при якій відбувається його калібрування, а при використанні CHAdeMO - дуже важливо не допускати перегріву високовольтної акумуляторної батареї. Не менш важливий вузол для електромобіля - зарядний пристрій. У Leaf зарядний



пристрій вбудований і буває різних потужностей: у базових версіях S воно на 3,6 кВт, а у більш дорогій SV і топовій SL - на 6,6 кВт.

Краще, звичайно, купувати версії подороже - адже при прискореній зарядці зі станцій потужністю 10-20 кВт (розміщені на деяких АЗС і біля великих супермаркетів) повністю зарядити 24-кіловатну батарею «електрички» можна за 3-4 години, тоді як у базових версіях час підживлення буде практично вдвічі більшим. А ось час зарядки від побутової електромережі з напругою 220V і силою струму 16A (максимум 3,5 кВт) у всіх версіях Leaf буде однаковим і складе близько 7-8 годин. Як правило, саме таким чином і відбуваються у власників нічні «годування» батареї. До речі, зверніть увагу - взимку час зарядки, особливо поза теплих гаражів збільшується на 30-40%. Важливо враховувати наявність в акумуляторі або в схемі захисту у вигляді BMS. BMS - це контролер, який виконує відразу безліч функцій. Він може захищати елементи живлення від небезпечних значень напруги і струму, балансувати елементи на останніх стадіях заряду, а також здійснювати регулювання напруги, що подається. Зарядка літій-іонних акумуляторів безпосередньо може становити небезпеку для АКБ, особливо якщо використовується кустарне ЗУ. Застосовувати кустарні пристосування як на основі трансформатора з діодним мостом, так і на основі перероблених комп'ютерних блоків живлення не рекомендується навіть для свинцево-кислотних АКБ. Якщо з якоїсь причини в літєвому акумуляторі відсутня BMS, на ЗУ потрібно виставити напругу, яка є максимальною для даного типу батарей. Наприклад, літій-іонні АКБ при повному заряді видають 4.28 на один осередок, а LiFePO4 - 3,65. Якщо струм, при цьому, перевищує 05S, рекомендується його обмежити. Якщо ЗУ не дозволяє регулювати струм, знизити його можна шляхом зниження вихідної напруги. Як тільки воно буде досягнуто, його можна підняти до кінцевого показника, відповідного повному заряду акумулятора. У випадку з літєвими акумуляторами, обладнаних BMS,



все куди простіше. Контролер просто не допустить подачу небезпечних номіналів струму і напруги. Єдине виключення - це коли користувач самостійно припиняє BMS до свого складання батарей. У такому випадку не можна гарантувати, що контролер налаштований вірно відповідно до вимог, що пред'являються конкретним блоком акумуляторів.

## 1.6 Корегування струму заряду ВВБ

Літій-іонні акумулятори були предметом значних досліджень і розробок в останні роки і стали перспективною альтернативою для енергоблоків в гібридних електромобілях (HEV) і електромобілів (EV) через їх високу номінальну напругу, високу щільність енергії, тривалий термін служби і жоден ефект пам'яті.

Як одне з джерел живлення, продуктивність літій-іонних батарей буде мати прямий вплив на продуктивність водіння та економічність експлуатації автомобіля. Повідомлялося, що зарядка акумулятора сприяла більшому зниженню потужності в порівнянні з розрядкою акумулятора. Тому необхідно вивчити характеристики зарядки і пов'язані з цим фактори впливу акумулятора.

Літій-іони мігрують з позитивного на негативний електрод під час зарядки, вбудовуючи в пористий електродний матеріал процес, відомий як інтеркаляція.

Поляризаційна напруга, що відображає зміну напруги клітини від її напруги відкритого кола, з'явиться під час заряду та розряду. Хімічні параметри і детальні знання про конструкцію акумулятора і властивості матеріалу, однак, зазвичай недоступні, що приносить труднощі в оцінці поляризаційної напруги акумулятора в практичному застосуванні [8, 9, 10].

У цьому відношенні, сучасне дослідження спрямоване на дослідження характеристик напруги поляризації заряду для великої літій-іонної батареї на

основі обох електрохімії імпедансної спектроскопії (EIS) вимірювальні дані та результати тестування заряду акумулятора, аналіз впливу початкового SOC та струму заряду на напругу поляризації заряду та їх зв'язки, а також встановлення моделі моделювання напруги поляризації заряду як основи оптимізації зарядки акумулятора.

На термін служби акумулятора впливає його хімічне старіння, яке не залежить від фізичного віку акумулятора. Хімічне старіння обумовлюється складною комбінацією декількох факторів, зокрема температурними умовами використання та режимом заряджання. Усі акумулятори є витратними компонентами, ефективність яких знижується в процесі хімічного старіння. Хімічне старіння характеризується зменшенням об'єму заряду, який може утримувати літій-іонний акумулятор, і відповідним скороченням часу автономної роботи та зниженням максимальної продуктивності [10].

Найбільш правильним способом заряду літєвих акумуляторів є заряд у два етапи. Саме цей спосіб використовує компанія Sony у всіх своїх зарядниках.

Незважаючи на більш складний контролер заряду, це забезпечує більш повний заряд лі-іон акумуляторів, не знижуючи терміну їх служби. Отже, розглянемо обидва етапи заряду детальніше.

На першому етапі повинен забезпечуватися постійний струм заряду. Величина струму становить 0.2-0.5S. Наприклад, для акумулятора ємністю 3000 мА/год, номінальний струм заряду на першому етапі дорівнює 600-1500 мА, а струм прискореного заряду може лежати в межах 1.5-3А. Для забезпечення постійного зарядного струму заданої величини, схема зарядного пристрою (ЗУ) повинна вміти піднімати напругу на клеммах акумулятора. По суті, на першому етапі ЗУ працює як класичний стабілізатор струму.

У момент, коли напруга на акумуляторі підніметься до значення 4.2 вольт, акумулятор набере приблизно 70-80% своєї ємності (конкретне значення ємності буде залежить від струму заряду: при прискореному заряді буде трохи



менше, при номінальному - трохи більше). Цей момент є закінченням першого етапу заряду і служить сигналом для переходу до другого (і останнього) етапу.

Другий етап заряду - це заряд акумулятора постійною напругою, але поступово знижується (падаючим) струмом. На цьому етапі ЗУ підтримує на акумуляторі напругу 4.15-4.25 вольтів і контролює значення струму. У міру набору ємності зарядний струм буде знижуватися. Як тільки його значення зменшиться до 0.05-0.01S, процес заряду вважається закінченим [9].

За час другого етапу заряду, акумулятор встигає набрати ще приблизно 0.1-0.15 своєї ємності. Загальний заряд акумулятора таким чином досягає 90-95%, що є відмінним показником. Ми розглянули два основних етапи заряду. Однак, висвітлення питання зарядки літєвих акумуляторів було б неповним, якби не був згаданий ще один етап заряду - т. зв. Попередній заряд. Попередній етап заряду (перезаряд) - цей етап використовується тільки для глибоко розряджених акумуляторів (нижче 2.5 В) для виведення їх на нормальний експлуатаційний режим. На цьому етапі заряд забезпечується постійним струмом зниженої величини до тих пір, поки напруга на акумуляторі не досягне значення 2.8 В. Попередній етап необхідний для запобігання видування і розгерметизації (або навіть вибуху із загорянням) пошкоджених акумуляторів, що мають, наприклад, внутрішнє коротке замикання між електродами. Якщо через такий акумулятор відразу пропустити великий струм заряду, це неминуче призведе до його розігріву, а далі як пощастить. Ще одна користь перезарядок - це попередній прогрів акумулятора, що актуально при заряді при низьких температурах навколишнього середовища (в неопалювальному приміщенні в холодну пору року). Інтелектуальна зарядка повинна вміти контролювати напругу на акумуляторі під час попереднього етапу заряду і, в разі, якщо напруга довгий час не піднімається, робити висновок про несправність акумулятора. Всі етапи заряду літій-іонного акумулятора (включаючи етап перед заряду) схематично зображені на Рис.1.4.



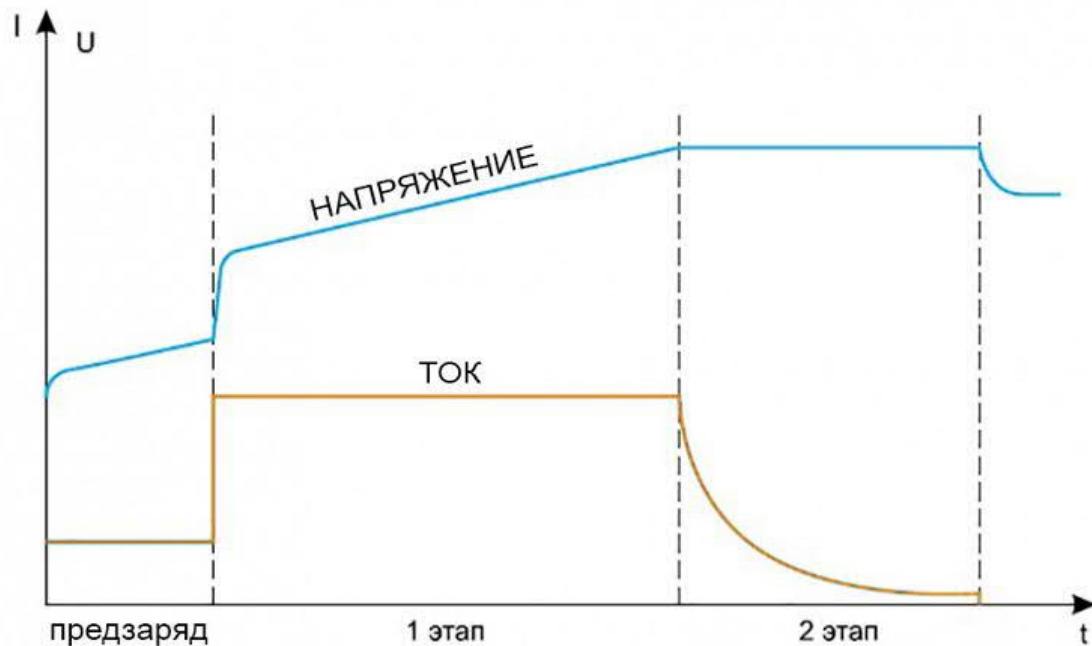


Рис.1.4.. Залежність напруги від набору ємності [9]

Перевищення номінальної зарядної напруги на 0,15V може скоротити термін служби акумулятора вдвічі. Зниження напруги заряду на 0,1 вольт зменшує ємність зарядженої батареї приблизно на 10%, але значно продовжує термін її служби. Напруга повністю зарядженого акумулятора після вилучення його з зарядного пристрою становить 4.1-4.15 вольт [10].

### **Зарядка за допомогою частотного зарядного пристрою**

Електрохімічна спектроскопія імпедансу (EIS) - метод вимірювання в частотній області. Досліджує електродну систему шляхом вимірювання імпедансної спектроскопії в широкому діапазоні частот, яка може отримати більше інформації про динамічну та електродну структуру інтерфейсу, ніж інші звичайні електрохімічні методи. Коли еквівалентній схемі задається синусоїдальний вхідний сигнал струму на певній кутовій частоті, зовнішня частина вимірювального ланцюга отримує сигнал напруги тієї ж кутової

частоти; ми називаємо функцію частотного відгуку моделі схеми «еквівалентним контуром імпедансу». Електродна реакція клітин досить складна, коли синусоїдальний вхід збурення протікає в клітинній системі, зміна умов реакції динамічних факторів, таких як електродний потенціал і концентрація речовини біля електричного подвійного шару вплине на аналіз спектру імпедансу [8, 10].

Встановлено, що коли реакція і збурення електрода приблизно лінійні з лінійними умовами, його можна описати за допомогою еквівалентної схеми моделі у відповідному частотному діапазоні.

Для вивчення динаміки електродів акумулятора використовується технологія спектроскопії імпедансу для вимірювання частотної реакції від 0.1Hz до 10 к Гц LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> батареї. Запропоновано, що ємнісна дуга реагування, подібна до електричного двошарового конденсатора, існує в аналізі імпедансової спектроскопії; таким чином, отримана інформація про зміну інтерфейсу реакції електрода та динаміки інтерфейсу електрода [8, 9].

Шляхом тестування імпедансної спектроскопії LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>battery на різних SOC, спектрограми імпедансу отримують на комплексній площині різних точок 3%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% і 60%, як показано на Рис.1.5. Кожна точка вимірюється тричі при кімнатній температурі, щоб зменшити похибку тестування, оскільки опір 90Ah батареї дуже малий. Швидкість реакції електрода акумулятора вища, він виконує роль ємнісної дуги реагування, що складається з електричного двошарового конденсатора і поляризаційного опору паралельно від 2Hz до 300Hz, в той час як на меншій частоті дифузійна спектроскопія, яка представляє процес дифузії, не очевидна. Це говорить про те, що характеристика імпедансу нових батарей в основному визначається електрохімічним опором поляризації і внутрішнім опором батареї  $R\Omega$  [8, 10].

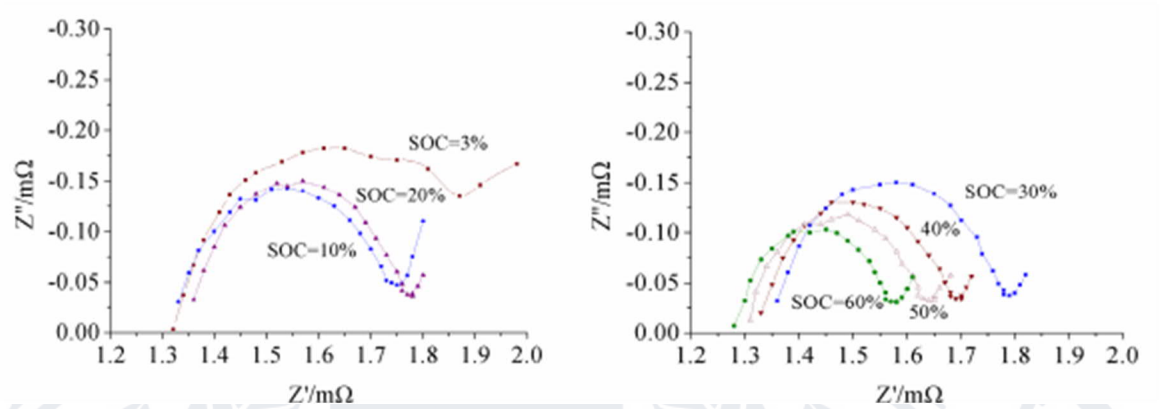


Рис.1.5.. Спектроскопія Li-іон батареї

Результати монтажу моделі першого порядку RC наведені на малюнку Це означає часову константу поляризації передачі заряду, що відображає швидкість реакції поляризації батареї в цій точці SOC. Рис.1.5. показує зв'язок між  $R_{pa}/R_{paQY}$  і різними точками SOC. Коли SOC знаходиться на низькій стороні,  $R_{pa}$  вище. Експериментом встановлено, що в діапазоні 0% -10% напруга поляризації, що виробляється на початку заряду вище, в діапазоні 10% - 30% виробляється поляризаційна напруга, в діапазоні 40% -60%  $R_{pa}$  поступово зменшується, а швидкість реакції поляризації збільшується, що означає, що в цьому діапазоні ступінь електрохімічної поляризації нижче [10].

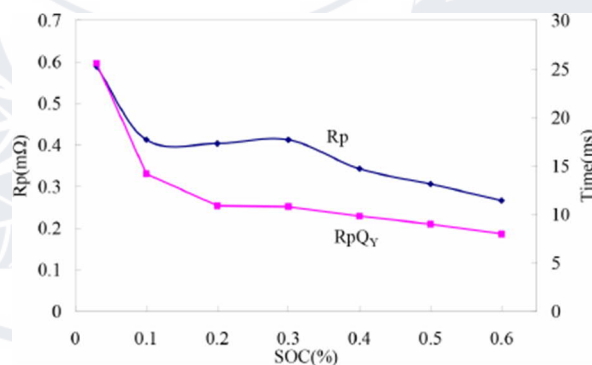


Рис.1.6.. Вплив на набір ємності за рахунок напруги заряду

Стан зарядки (SOC) при підключенні до зарядного пристрою клемна



напруга акумулятора може виражатися у вигляді:

$$V_t = V_{OC} + IR_o + V_p \quad (1.0)$$

Де  $V_{OC}$  представляє клітинну напругу з відкритим контуром,  $IR_o$  позначає Омичну втрату батареї, пов'язану з контактним опором, опір електроліту,  $I$  виражає струм заряду батареї,  $V_p$  описує напругу поляризації щодо масового транспорту або поляризації концентрації та передачі заряду або поляризації активації батареї. Напруга відкритого ланцюга може бути отримана шляхом вимірювання термінальної напруги після того, як батарея залишена в стані відкритого контуру протягом тривалого часу, коли потрапила в стаціонарний стан. Оміс опір  $R_o$  може бути отриманий через дані відгуку напруги акумулятора при імпульсному струмі. І напругу поляризації можна обчислити на основі рівняння .

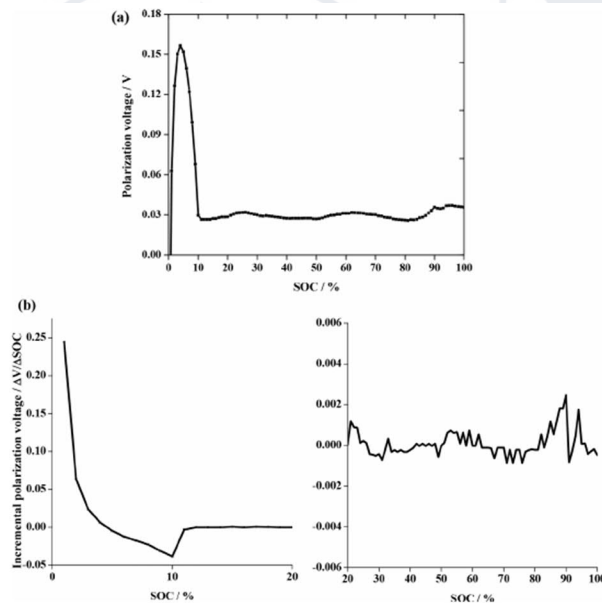


Рис.1.7. Напруги поляризації заряду [10]

Рис.1.7. (a) і (b) повідомляє про напругу поляризації заряду і додаткову напругу поляризації заряду, що змінюється з SOC. У цьому експерименті

аккумулятор спочатку заряджався постійним струмом  $C/3$ , поки напруга аккумулятора не досягла максимальної напруги заряду, потім заряджався при максимальній напрузі, поки струм не впав до  $5A$ . З даних на малюнку 4 видно, що поляризаційна напруга різко зростає, поки батарея SOC не прибуде близько 5%, а потім швидко падає у відносно стійкий стан після того, як близько 10% номінальної ємності аккумулятора було перезаряджено, що додаткова поляризаційна напруга з'являється «долині», показана на малюнку 4 (b) [10].

Поляризаційна напруга SOC від 0% до 10% набагато вище, ніж після 10% SOC, що також демонструється результатами EIS, показаними в таблиці 1. Від 10% до 80% SOC, поляризаційна напруга коливається в межах 10 мВ. Напруга поляризації поступово зростає між 80% і 90% SOC, припускаючи, що поляризація батареї в цей період підвищується, а потім підтримує високий рівень і не збільшується до повного зарядження, оскільки батарея заряджається при постійній напрузі і струм поступово зменшується. Встановлено, що два поля, які від 0% до 10% SOC і від 80% до 100% SOC, повинні заряджатися при низькому струмі і не підходять для швидкої зарядки. Рис.1.8. (a) і (b) ілюструє напругу поляризації заряду аккумулятора і його початковий рівень поляризації на різних початкових SOC. Встановлено, що характеристики реакції напруги поляризації заряду SOC від 10% до 70% схожі на динамічну систему над демпфуванням, що напруга починає швидко зростати, а потім підтримує майже постійну, що значно відрізняється від того, що 0% SOC показано на Рис.1.8. (a).

Крім того, стійке значення поляризаційної напруги для різних початкових SOC відрізняється один від одного, особливо для початкової SOC 10% і 60%; різниця приходить навколо 10mV. Показано, що на поляризацію заряду впливає батарея початкового SOC. Вплив SOC на напругу поляризації заряду тому необхідно враховувати в моделюванні.

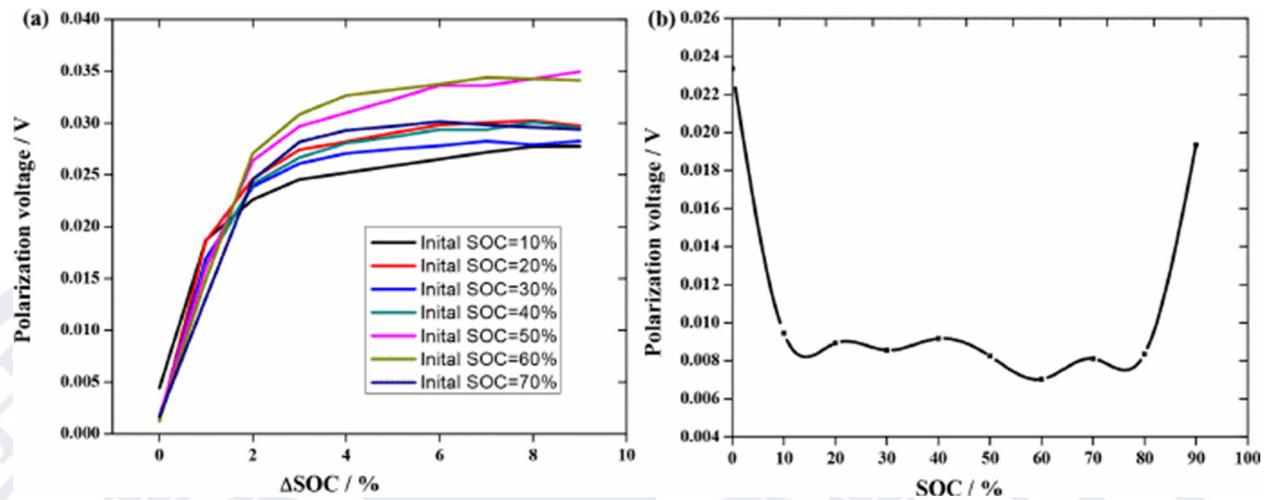


Рис.1.8. Залежність поляризації від степені зарядки [8, 10]

### Струм заряду

Напряга поляризації проти профілю SOC при різному струмі заряду повідомляється на Рис.1.9. Очевидно, що напруга поляризації збільшується з збільшенням струму заряду, як очікувалося. Для подальшого дослідження зв'язку поляризаційної напруги і струму заряду батареї, дані на малюнку 6 були витягнуті в заданій точці SOC, а потім поляризаційна напруга буде отримана при різних струмах, що показано на малюнку 7. З малюнка 7 показано, що напруга поляризації є приблизно лінійною функцією струму заряду, і значення також пов'язані з батареєю SOC.

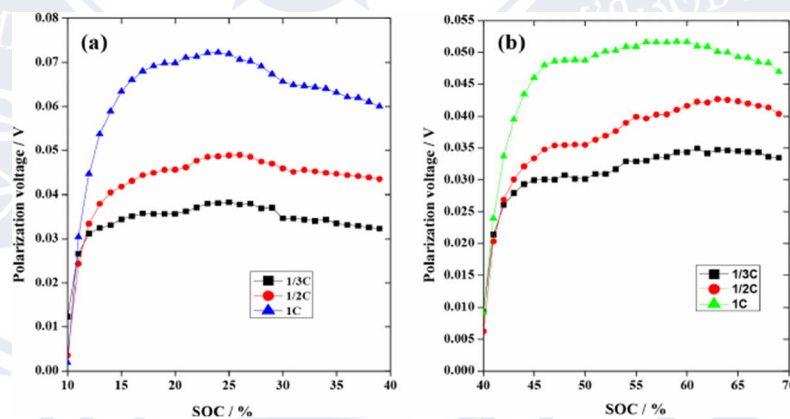


Рис.1.9.. Поляризація при різних струмах зарядки



## РОЗДІЛ 2

### Підготовка до побудови універсальної системи керування

Опрацювавши матеріали та переглянувши існуючі компоненти їх доступність та переваги одних перед іншими, можна зробити однозначні висновки в користь певних компонентів.

Оскільки архітектура компонентів стала занадто складною, щоб просто з'єднати усе в одну мережу, ЕБУ та сенсори почали об'єднувати в окремі мережі, які в свою чергу можуть бути частиною іншої.

Для передавання даних про швидкість електромобіля в колеса влаштовано тахометр, який передає всі данні в підсистему керування швидкістю та напрямом. Це зроблено для того аби відслідкувати актуальну швидкість електромобіля та обороти ротора для правильної передачі даних.

Модуль LTE відповідає за стабільну роботу Інтернету для забезпечення оптимальної роботи сервісів, пов'язаних з роботою підсистем локалізації автомобіля у просторі. Також, модуль LTE використовується для пошуку в інтернеті. Модуль який використовують в електромобілях Tesla.

В блоці акумулятора також міститься холодоелемент. Для того щоб уникнути перегріву акумулятора використовують імерсійне охолодження за допомогою діелектричної рідини. Така технологія активно використовується при охолодженні обчислювальної техніки. Коли акумулятор починає нагрівати рідину, він активно втрачає температуру, тобто охолоджується. Діелектрична речовина починає закипати під впливом температур і забирає зайву енергію [44].

#### 2.1 Огляд протоколів передачі даних

Найбільш поширеним протоколом є Controller Area Network, який можна вважати стандартом де-факто для обміну інформацією в автомобілі. Цей протокол було створено в середині 1980-х компанією Bosch. Зазвичай в автомобілі присутні дві або три окремі CAN мережі, що працюють з різною швидкістю передачі даних ЕБУ з'єднані послідовною шиною і кожен компонент “бачить” кожне повідомлення в мережі. CAN шина низької швидкості працює при менш, ніж 125 Кб/с та використовується для компонентів, які відповідають за комфорт, положення вікон, сидінь, інші можливості, які підбирає під себе користувач. Така шина має енергоефективний режим сну, в якому ЕБУ призупиняють відправку даних до того моменту, коли прийду повідомлення, що “розбудить” їх.

Зазвичай функції протоколів різних рівнів реалізуються в драйверах щодо різноманітних обчислювальних мереж. Відповідно до семирівневої структури моделі VBS можна говорити про необхідність існування протоколів для кожного рівня.

Концепція відкритих систем передбачає розробку стандартів для протоколів різних рівнів. Найлегше піддаються стандартизації протоколи трьох нижніх рівнів моделі архітектури відкритих систем, оскільки вони на сьогодні визначають дії і складні процедури, характерні для обчислювальних мереж будь-якого класу.

Найважче стандартизуються протоколи верхніх рівнів, особливо прикладного, через множинності прикладних завдань та низці випадків їх унікальності.

Щоб отримати можливість доступу до цього ресурсу з вузла мережі, необхідні спеціальні механізми — методи доступу. Метод доступу до передавального середовища — це метод, який забезпечує виконання сукупності правил, за якими вузли мережі отримують доступ до ресурсу. Існують два основних класи методів доступу: детерміновані, недетерміновані.

Протокол CAN розроблений інженерами фірми R.Bosch GmbH для застосування автомобілями. Протокол відповідає міжнародним стандартам ISO 11898 і ISO11519, практично використовується кількома виробниками електронних приладів. Протокол CAN визнаний автомобільними виробниками Європи, використовується на сучасних легкових автомобілях, вантажівках, автобусах, сільськогосподарському транспорті, в морському обладнанні, для автоматизації виробництва [14].

Протокол CAN підтримує метод доступу CSMA/CD-A до мережі із рівноранговими вузлами. Пакет даних має розмір не більше 8 байт і передається по послідовній шині. 15-бітовий циклічний контроль надмірності забезпечує високий рівень цілісності даних.

Нині виробляються декілька типів CAN-контролерів, які можна розділити на три групи залежно від підтримки ними розширеного формату кадру:

- контролери v2.0A. Підтримують лише стандартний формат, що неспроможні працювати у мережі, де передаються кадри розширеного формату;
- контролери v2.0B, пасивні. Підтримують лише стандартний формат, але можуть працювати у мережі, де передаються кадри розширеного формату;
- контролери v2.0B, активні. Підтримують операції з кадрами стандартного і розширеного форматів.

Контролери CAN класифікуються як і повні або базові залежно від організації буферизації даних. Повний CAN-контролер має певну кількість (зазвичай 14) спеціалізованих буферів для тимчасового зберігання повідомлень. При ініціалізації CAN-контролера можна сконфігурувати його, вказавши, який кадр буде надходити до якого буфера [6].

## 2.2 Види взаємодії електронних блоків та безпека керування електромобілем



Більша частина стандарту CAN зосереджується на рівні каналу передачі даних, що діє як інтерфейс між фізичним рівнем та вищими по відношенню до нього рівнями згідно з мережевою моделлю OSI протокол передачі даних ретельно описано в документі специфікації Bosch, хоча з деякими двозначностями, які згодом були висвітлені в стандарті ISO 11898-1. Стандарт описує чотири типи пакетів [15, 16]:

- 1) Пакети даних;
- 2) Віддалені пакети;
- 3) Пакети помилок;
- 4) Пакети перевантаження.

Пакети даних та віддалені пакети характеризуються двома варіантами: стандартним форматом (визначений у частині А для Bosch CAN 2.0) та розширеному форматі (який використовує 29-розрядний ідентифікатор кадру, визначений у частині Bosch CAN 2.0 В).

Пакет даних передає дані від передавача до всіх приймачів. Віддалений пакет надсилається вузлом для запиту нового пакету даних із надісланим ідентифікатором. Пакет помилки надсилається будь-яким вузлом, коли виявляється помилка в бітах повідомлення, помилка CRC, помилка формату або помилка підтвердження (або їх комбінація).

Пакет помилки складається з:

- 1) Позначка помилки: 6 біт, доміантних або рецесивних в залежності від поточного стану помилки контролера CAN;
- 2) Суперпозиція прапорів про помилки: можливе накладання прапорів помилок, відправлених різними контролерами в різні моменти;
- 3) Розділювальний символ: 8 рецесивних бітів, що вказують на кінець пакету помилок.

4) Призначення пакету перевантаження полягає у затримці передачі наступних пакетів даних або віддалених пакетів. Пакет перевантаження містить:

5) Позначку перевантаження: 6 домінуючих бітів;

6) Суперпозиція позначок перевантаження: можливого накладання [16]

Позначок перевантаження, відправлених різними контролерами в різні моменти розділювальний символ: 8 рецесивних бітів, що сигналізують про кінець кадру перевантаження. Контроль помилок Усього є 5 різних типів помилок.

- Бітова помилка: компонент, яка надсилає бітову послідовність по шині, також стежить за шиною.

Бітова помилка повинна бути виявлена коли є відмінність в надісланих та виявлених бітах. Винятком є відправка рецесивного біта під час наповнення бітового потоку або під час синхронізації. Бітова помилка не виникає, коли виявлений домінуючий біт.

- Помилка у змісті: помилка з'являється коли надходять шість біт однакового рівня у полі повідомлення, яке слід кодувати методом наповнення бітів;
- Помилка CRC: кожен пакет має CRC який розраховується передавачем, приймачі розраховують CRC так само, як і передавач; помилка CRC повинна бути виявлена, якщо розрахунковий результат не співпадає з отриманим у послідовності CRC;
- Помилка формату: помилка з'являється, коли бітове поле з фіксованим

форматом містить один або декілька помилкових бітів;

- Помилка підтвердження: помилка підтвердження повинна бути виявлена передавачем, коли він не виявляє домінуючий біт протягом синхронізації [14, 15 ,16].

## РОЗДІЛ 3

### Практична частина

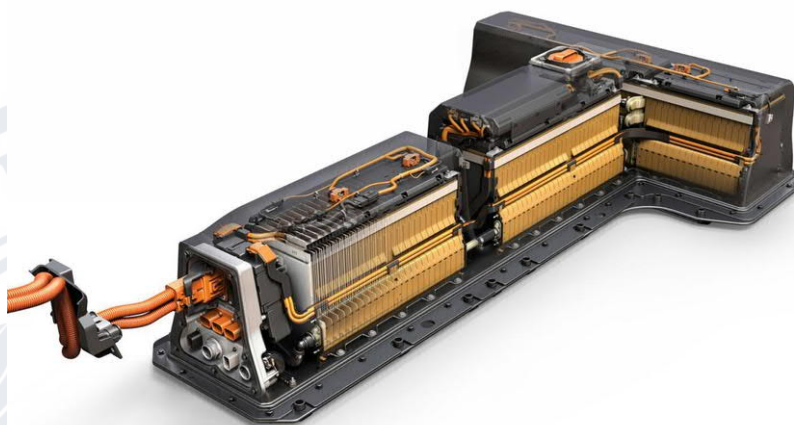
#### 3.1 Вибір обладнання

Після проробленої 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 Рис.3.1. показана придбана високовольтна батарея.





*Рис.3.1. Високовольтна батарея автомобіля 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 Рис.3.1. показаний інвертор, який буде відповідати за споживання струму з високовольтною батареєю, завдяки такому елементові можна змінювати умови навантаження на високовольтну батарею.



*Рис.3.2.. інвертор електромобіля Nissan Leaf*

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

Для дослідів було обрано автомобіль Рис.3.2. Nissan Vanette C22 1987 року випуску з не працюючим двигуном внутрішнього згорання.



*Рис. 3.3. Автомобіль для монтажу комплектуючих, NISSAN VANETTE C22*

### **3.1 Монтаж, встановлення, активація**



Тепер потрібно встановити елементи у підготовлений кузов, для подальшої експлуатації та вимірів і досліджень 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.

Високовольтні батареї потрібно встановлювати в самій нижній, так як для транспортного засобу найнижчий центр маси – це безпека. Але із-за неможливості довелося встановити високовольтну батарею всередині салону під задніми сидіннями третього та другого ряду. Блоки батареї повинні бути розташовані послідовно, так як і високовольтні підключення сформовані для такого типу з'єднань, так і той факт, що модулі балансування ВМВ мають свою власну послідовну кан лінію на 125кБ/с.

Під час підключення важливим моментом є те, що усі сигнальні дроти повинні бути прокладені в екранованому кабелі 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 балансірів і, як наслідок, можна отримати розбалансовану батарею або пошкоджений елемент живлення. Тому, окрім екранування 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 акумуляторної батареї, у аналоговому вигляді. Ці виміри знадобляться в подальшому для порівняння показників ВМВ 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 вольт до 4.2 вольт. Задля безпеки першого запуску системи та впевненості



у справності усіх елементів батареї, потрібно в ручну за допомогою потенціометра або мультиметра перевірити усі комірки високовольтної батареї.

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

На Рис.3.4. показаний процес вимірювання комірок високовольтної батареї, варто звернути увагу на те, що усі комірки з'єднані за допомогою зварювальної технології.



*Рис.3.4. Перевірка напруги на елементах батареї*

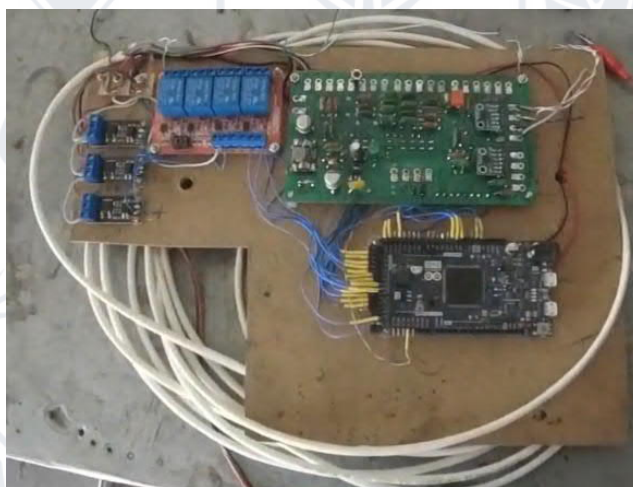
Після вимірювання та записів стало відомо загальну напругу високовольтної батареї та значення напруги кожного з 96-ти гальванічних елементів. Виміри були продубльовано у блокнот-записник для можливості порівняння в майбутньому з електронними показниками. Загальна напруга батареї після вимірів становила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

Далі потрібно 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 шунти ВМВ 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 збоїв у зв'язку великими спалахами магнітних полів. Тому найоптимальнішим місцем буде локація, якнайдалі від силових кабелів або місце ізольоване металевими стінками.



*Рис.3.5. Плата керування встановлена на тестовій платформі*

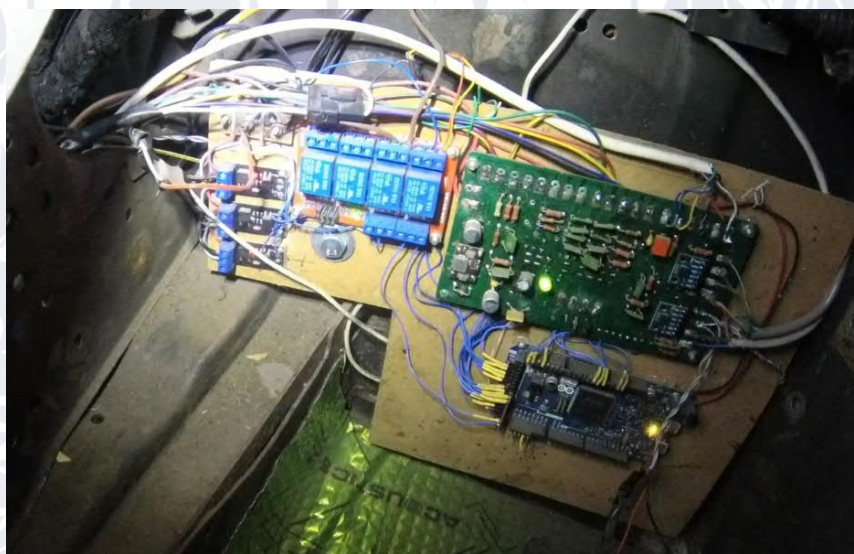
Також на тестовій платформі додатково встановлені модулі управління обладнанням вхідних та вихідних сигналів, а саме керування контактором позитивним, контактором негативним та реле попереднього заряду. Для цих трьох елементів виділені три силових транзистора інтегровані на платі. Для решти елементів 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 Рис 3.6. 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.



*Рис.3.6.. Тестова плата керування підключена до автомобіля*

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 з'єднання, а також і живлення систем моніторингу та балансування високовольтної батареї завжди гальванічно розв'язанні, для випадків, коли конструкція отримала пошкодження 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 світлодіодам, які за допомогою АЦП можуть передавати 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'язку встановлено по парі оптичних перетворювачів, що забезпечує захист системи у критичний момент чи під час виходу з ладу системи управління та балансування високовольтної батареї.

### **3.2 Декодування та дослідження програмного коду**

Після проробленої роботи та перевірки працездатності всіх елементів, можна бути впевненим, що система працює справна 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 спокою, навіть по при ті умови, що система має живлення підключена до плати керування, вона абсолютно ніякій дії не виконує. Для зняття потоку даних, використовуємо прилад CAN-Header. 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 провідників кан-ліній, так як їх полярність має велике значення.

Запускаємо програму і бачимо, що батарея хоч і стані спокою, але активно очікує команд, про що символізує потоки сап-адрес зображений на Рис.3.7.

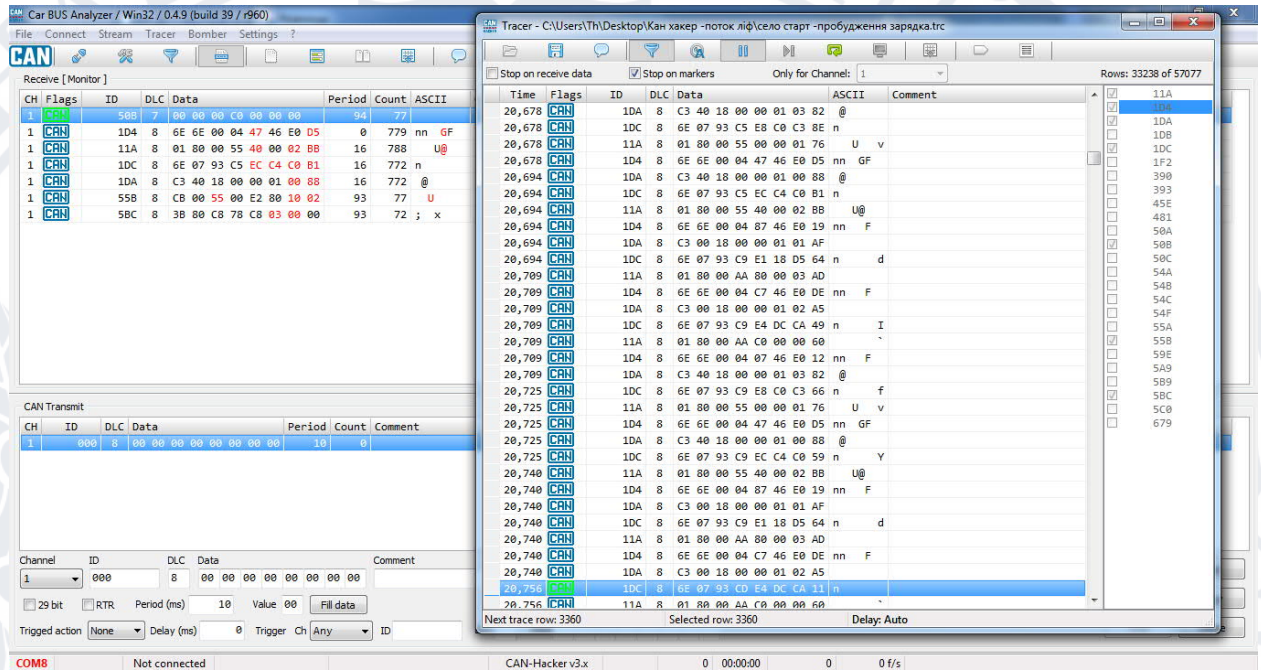


Рис.3.7. Декодування програмного коду

Завдяки програмному забезпеченню можливо виділити 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, таких адресних стрічок ми маємо декілька. Використовуючи дані, які ми виміряли потенціометром переводимо 4,02 В у шістнадцятиричну систему, і отримуємо результат E1F1, та, як можемо помітити, це значення відповідає адресі 1DC Рис. 3.8., 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

Рис.3.8. Адресні стрічки які відповідають за керування електродвигуном

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 ВМВ. В середині такого модуля знаходиться три процесора, які паралельно можуть надавати данні про стан елементів Рис.3.9.

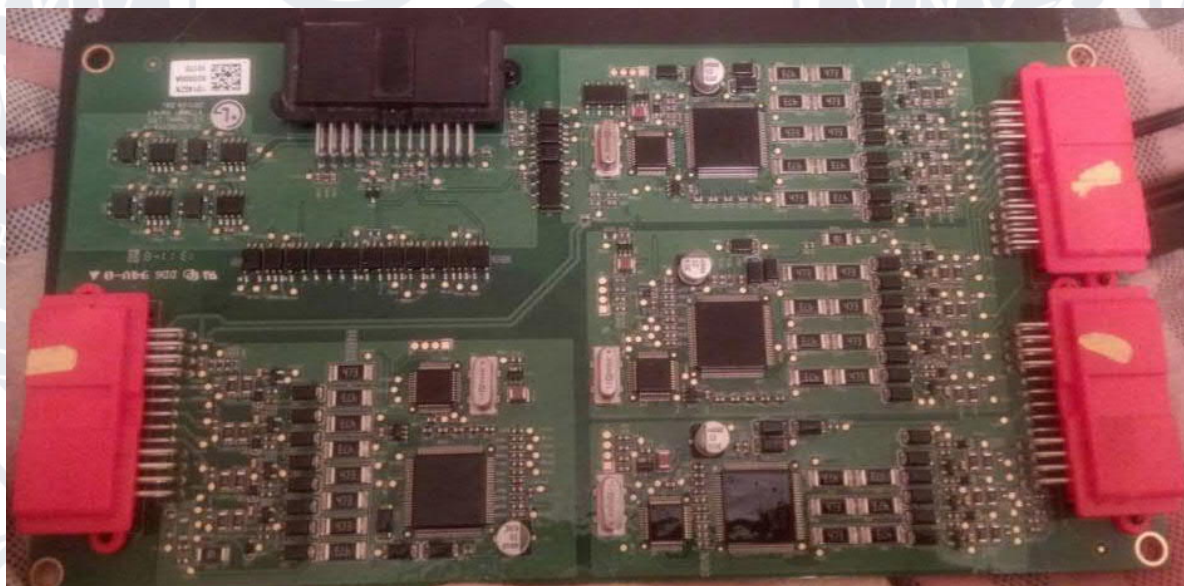
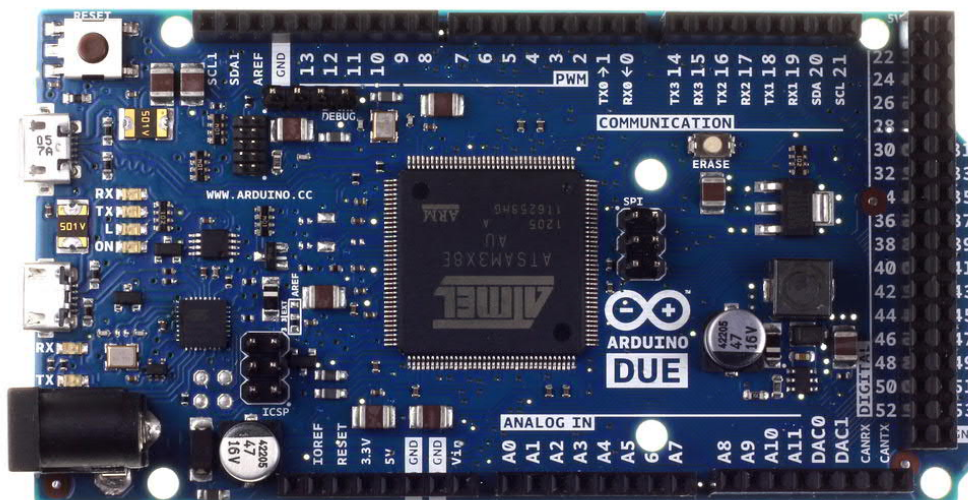


Рис.3.9.. Блок управління ВМВ

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.



*Рис.3.10. 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.

```

37
38 if (drive_status or reverse_status) {
39 //----0x1D4 -- тут задається обертн---
40
41 //rpm=128;
42
43     uint8_t aa[2];
44     *(int*)aa=&rpm;
45     byte b0=aa[0];
46     byte b1=aa[1];
47
48 byte counter= 0x07 | (mot_rpp << 6);
49
50
51 // uint8_t madr3[] {0x6E, 0x6E, b1, b0, counter, 0x44, 0x01, 0x00};
52     msg1.id = 0x1d4;
53     msg1.length=8; // кількість байт, що передається
54     msg1.data.bytes[0] = 0x6E;
55     msg1.data.bytes[1] = 0x6E;
56     msg1.data.bytes[2] = b1; //швидкість
57     msg1.data.bytes[3] = b0; //швидкість
58     msg1.data.bytes[4] = counter; // лічильник
59     msg1.data.bytes[5] = 0x44;
60     msg1.data.bytes[6] = 0x01;
61     // msg1.data.bytes[7] = nissan_crc(madr3);
62     nissan_crc2(); // b[7]
63
64     Can1.sendFrame(msg1);
65

```

*Рис.3.11.. Процес написання програмного коду*

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 виконання попереднього заряду конденсаторів інвертора при першому пускові залежно від опору резистора чи ламп накаливання.

Нарешті, наступний і фінальний етап – це заміна тестового контролера на готовий, з інтегрованими реле для управління високовольтними контакторами 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.



### 3.3 Оптимізація заряду та моніторинг

Після тестування системи, а також налаштування потрібно віділити час користувацьким налаштуванням та візуальній складовій. Потрібно усі дані, які було знайдено у програмному коді 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 можливістю перепрограмування через UART Придбаний дисплей було встановлено в панель приладів замість непрацюючих датчиків температури та рівня палива



*Рис.3.12. Приборна панель для відображення даних*

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 написано власноруч індивідуально



під даний проєкт 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 проєкт, завантажуюмо і отримуємо першу працюючу версію для моніторингу високовольтної батареї Рис.3.13.



*Рис.3.13. Тестування відображення напруг елементів батареї*

Як видно на Рис. 3.13., не всі елементи відобразились на дисплеї. Це пов'язано з тим, що послідовність підключення ВМВ 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. Рис. 3.14)



*Рис.3.14. Підключення модулів ВМВ*

Після заміни місцями модуля ВМВ все стало відображатись коректною. Тепер задача була поставлена таким чином: потрібно відобразити номер комірки, яка в даний момент балансується.

За допомогою модернізації програмного коду, який керує графічною складовою 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 покрокова 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 коді були вказані деякі числові поправки, для одночасного керування та оновлення даних трьома ВМВ модулями.

Таким чином, замість однієї комірки за секунду, одночасно стали балансуватися три. Але це ще не поріг можливостей нашої системи. Кожен ВМВ 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.



*Рис.3.15. Відображення всіх елементів батареї*

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

В ході дипломного дослідження та на основі зробленої роботи, проведених досліджень, розрахунків можна зробити висновок, що універсальна система керування електромобільними агрегатами є набагато доступнішою та простішою в моментах монтажу та адаптування, також варто зазначити на основі теоретичного дослідження описаного у розділі 1, аналогів які могли б виконувати аналогічні функції та бути у мінімальному ціновому діапазоні

Здійснено роботу по розробці програмного забезпечення, проектування монтажних та принципових схем а також перевірка працездатності на сконструйованій системі та налагодження у процесі експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобашов О. Розумний транспорт і логістика для міст. Навчальний посібник. 2021. URL: [https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7970/Joint%20Manual%20SMALOG\\_v.1.3%20%282%29.pdf](https://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7970/Joint%20Manual%20SMALOG_v.1.3%20%282%29.pdf) (дата звернення: 05.06.2022)
2. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. К. : Знання України, 2018. 175 с.
3. Деменчук В., Янішевський С. Дослідження розподілу часових інтервалів у транспортному потоці на багатосмуговій автомобільній дорозі. Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання : Тези доповідей II Всеукр. наук.-теорет. конф., 16–18 берез. 2017 р. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2017. С. 79–82.
4. Контроль водіння, стиль водіння [Електронний ресурс]. URL: [http://space-team.com/monitoring\\_transporta/industry\\_solutions/driving\\_style/](http://space-team.com/monitoring_transporta/industry_solutions/driving_style/)
5. Кукурудзяк Ю.Ю., Ребедайло В.В. “Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном: монографія” – Вінниця, ВНТУ, 2010.
6. Гладій Б.О. “Автомати і автоматика. Автоматичне регулювання систем автомобіля. Електронні давачі. Фондова лекція з дисципліни “Електротехніка і електроніка”, Новороздільський політехнічний коледж, 2019.
7. Перетворювальна техніка : підручник / Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний та ін. ; за ред. В. С. Руденка. –Харків : Фоліо, 2018. – Ч. 2. – 360 с.
8. Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка : навч. посібник / О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко. – Краматорськ :Донбаська ДМА, 2018. – 328 с
9. Антропов Л. І. Теоретична електрохімія: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. І. Антропов; переклад з рос. В. П. Ріжко; МОН України. – Київ :Либідь, 1993. – 544 с.
10. Кошель М. Д Теоретичні основи електрохімічної енергетики: підруч. /



11. М. Д. Кошель МОН України. – Дніпропетровськ : УДХТУ, 2017. – 430с
12. Александрова Н. Взаємозв'язок управлінської компетентності та управлінської культури викладача. *Проблеми підготовки сучасного вчителя*. 2017. № 5(1). С. 138-143.
13. Сльникова Г. В. Управлінська культура керівника загальноосвітнього навчального закладу. URL: [www.ippo.edu.te.ua/files/na\\_dopomogu\\_-vchitelju/05\\_uprav](http://www.ippo.edu.te.ua/files/na_dopomogu_-vchitelju/05_uprav) (дата звернення: 05.04.2017).
14. Работа бортового компьютера [Електронний ресурс] – URL: <https://techautoport.ru/elektrooborudovanie-i-elektronika/kuzovnaya-elektrika/bortovoy-kompyuter.html>
15. Spaceteam Головна [Електронний ресурс] – URL: <http://space-team.com/>
16. Методи проведення комп'ютерної діагностики автомобіля [Електронний ресурс] – URL: <https://rating-avto./raznoe/kompyuternaya-diagnostika-avtomobilya.html>
17. Constructing an OBDII Message [Електронний ресурс] – URL: <http://www.drewtech.com/support/obd2.html>
18. Датчик швидкості: особливості роботи [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://avto.pro/autonews/datchik\\_skorosti\\_osobennosti\\_raboti\\_neispravnosti\\_i\\_z\\_avena-20181211/](https://avto.pro/autonews/datchik_skorosti_osobennosti_raboti_neispravnosti_i_z_avena-20181211/)
19. Принцип роботи системи курсової стійкості [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: URL: <https://moluch.ru/archive/136/38240/>
20. Electronic control unit [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_control\\_unit](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_control_unit)
21. Як користуватись бортовим комп'ютером? [Електронний ресурс] – <https://auto.today/bok/3603-kak-polzovatsya-bortovym-kompyuterom.html>
22. On-board diagnostics (OBD) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/On-board\\_diagnostics](https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics)

23. OBD2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/On-board\\_diagnostics#OBD-II](https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics#OBD-II)
24. OBD2 Technology: The Definite Interpretation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://obdsolaris.com/obd2-technology-definite-interpretation/>
25. OBD2 адаптери [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://elm327-obd2.ru/obzory/obd-2-diagnosticskiy-adapter-elm327-bluetooth.html>
26. Controller Area Network (CAN bus) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus)
27. OBD Standard interfaces [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/On-board\\_diagnostics#Standard\\_interfaces](https://en.wikipedia.org/wiki/On-board_diagnostics#Standard_interfaces)
28. OBD2 Parameter IDs [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II\\_PIDs](https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs)
29. ELM327 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/ELM327>
30. ELM327 Uses [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://en.wikipedia.org/wiki/ELM327#Uses>
31. ELM327 Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.elmelectronics.com/wp-content/uploads/2016/07/ELM327DS.pdf>  
(с. 10 - 12)
32. Python [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://python.org>
33. OpenCV [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://opencv.org>
34. Canny [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py\\_tutorials/py\\_imgproc/py\\_canny/py\\_canny.htm](https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_canny/py_canny.htm)



35. Перетворення Хафа [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

[https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough\\_lines/hough\\_lines.html](https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/imgproc/imgtrans/hough_lines/hough_lines.html)

36. Стандарт IEEE для технічних характеристик швидкого та двонаправленого зарядного пристрою постійного струму для використання з електричними транспортними засобами

<https://core.ac.uk/download/pdf/333611257.pdf>

37. Швидкий і двонаправлений зарядний пристрій постійного струму для використання з електромобілями <https://ieeexplore.ieee.org/document/9760299>

38. Метод аналізу впливу водія на споживання енергії та потреби в електроенергії електромобілів <https://ieeexplore.ieee.org/document/7056215>

39. Перетворювачі постійного струму в електромобілі. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4562633>

40. Комутований надійний контроль рекуперативного гальмування електромобілів <https://ieeexplore.ieee.org/document/5512254>

41. Безконтактні системи передачі електроенергії для електромобілів On-Line (OLEV) <https://ieeexplore.ieee.org/document/6183255>

42. Можливості та виклики технологій Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle та Vehicle-to-Grid URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6571224>

43. Варіанти двигунів для легких електромобілів, оптимізовані на основі гібридного еволюційного алгоритму <https://ieeexplore.ieee.org/document/8892851>

44. Tesla [Електронний ресурс] : Характеристики електромобіля Tesla Model X. - Назва з екрана. Доступ : <https://www.tesla.com/modelx>

45. Thomas Teixeira Map Memorization and Forgetting in the IARA Autonomous Car/ Thomas Teixeira, Filipe Mutz, Vinicius Cardoso, Lucas Veronese, Claudine Badue, Thiago Oliveira- Santos, Alberto F. De Souza - 2018