

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Гнатов Андрій Вікторович

Конспект лекцій з дисципліни
БУДОВА ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ І ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ



Харків 2021

ЗМІСТ ЛЕКЦІЙ

Тема 1. Історія розвитку електромобілів і гібридних автомобілів

Лекція 1

1. Особливості розвитку електричного автомобільного транспорту
2. Переваги та недоліки використання електричного автомобільного транспорту
3. Основні етапи розвитку електромобілів
4. Аналіз світових тенденцій в царині електромобілів

Тема 2 Класифікація електромобілів та гібридних автомобілів

Лекція № 2

1. Класифікація електромобілів та гібридів
2. Водневий автомобільний транспорт

Тема 3 Екологія та економіка використання електромобілів та гібридних автомобілів

Лекція № 3

1. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище
2. Викиди електричного автомобіля
3. Ефективність та економічні показники електромобіля
4. Утилізація акумуляторних батарей

Тема 4 Електропривод для електромобілів та гібридних автомобілів

Лекція № 4

1. Електродвигун-генератор
2. Асинхронні двигуни в електромобілі
3. Синхронні двигуни в електромобілі
4. Мотор-колесо в електромобілі

Тема 5 Високовольтна тягова акумуляторна батарея

Лекція № 5

1. Високовольтна тягова акумуляторна батарея
2. Основні параметри для тягової АКБ
3. Типи акумуляторних батарей
4. Твердотільні акумуляторні батареї
5. Суперконденсатори

Тема 6. Перетворювачі струму для електричного автотранспорту та систем накопичення електроенергії

Лекція № 6

1. Перетворювачі струму для електричного автотранспорту
2. Інвертор DC-DC для електричного автотранспорту
3. Інвертор DC -AC для електричного автотранспорту

4. Випрямляч AC- DC
5. Основи перетворення змінного струму в постійний, основні розрахункові співвідношення
6. Діодні перетворювачі однофазного змінного струму, електромагнітні процеси, що в них відбуваються
7. Діодні перетворювачі трифазного змінного струму
8. Тиристорні перетворювачі змінного струму в постійний

Тема 7. Зарядні станції для електромобілів та гібридних автомобілів

Лекція № 7

1. Системи зарядки
2. Класифікація видів роз'ємів для електромобілів
3. Відмінність швидкої, прискореної і швидкісної зарядки

Тема 8. Система управління акумуляторною батареєю електромобіля

Лекція № 8

1. Система управління BMS
2. Основні функції BMS
3. Робота зарядного блоку електромобіля
4. Вартість зарядки електромобіля
5. Заряд електромобіля Nissan Leaf

Лекція 1

Тема 1. Історія розвитку електромобілів і гібридних автомобілів

1. Особливості розвитку електричного автомобільного транспорту

Електричний автомобіль є безумовним і невідворотним майбутнім автомобільної промисловості, при цьому майбутнім найближчим. Багато виробників по всьому світу вкладають значні кошти в розробку електромобілів, адже цьому сприяє перманентне зростання цін на нафтопродукти, необхідність зниження шкідливих викидів під час експлуатації автомобіля, а також розробки пристроїв зберігання енергії та різного роду енергоефективні та енергоощадні технології.

В даний час найбільшими ринками електричних автомобілів є США, Японія та Китай. Трошки відстають від них європейські країни (Франція, Нідерланди, Норвегія, Німеччина, Велико-британія). З виробників електрокарів виділяються компанії: Nissan (Leaf), Mitsubishi (i MiEV), Toyota (RAV4EV), Honda (FitEV), Ford (Focus Electric), Tesla (Roadster, Model S, Model X, Model 3), Renault (Fluence Z.E., ZOE, Kangoo Z.E., Twizy), BMW (Active C, i3), Volvo (C30 Electric), Hyundai (Ioniq Electric), General Motors (Chevrolet Bolt), Mahindra (e2o Plus), Volkswagen (e-Golf), Opel (Ampera-e), Mercedes-Benz (B250e), Smart (ForTwo, ForTwo cabrio, ForFour), Citroen (Berlingo Electric), Fiat (500e), а також практично всі фірми автовиробники в Китаї.

Перші електрокари швидко набули популярності завдяки своїй простоті в експлуатації, відсутності запахів і меншому рівню шуму, на відміну від машин, що працюють на бензині.

Такими автомобілями користувалися заможні люди, щоб пересуватися по місту. Вважалося, що основні покупці таких автомобілів є жінки. Таке бачення було продиктоване тим, що електромобілі були чистими, тихими, без вихлопних газів, а найбільш вагомим чинником виступало те, що у них не було заводної рукоятки. Адже завести таким чином авто або розтопити котел в паровому автомобілі було під силу не кожному. Навіть в пресі робили наголос на тому, що електромобілі створені для жінок, наприклад, ілюстрація у вересневому журналі "Vog" 1912 р. "Жіночий автомобіль – електричний" [1-7]. На рис. 1 представлено зображення обгортки журналу 1912 р. та заряд електромобіля Columbia Mark 68 Victoria. Автомобіль випущений компанією Pore Manufacturing в 1906 р., а зарядний пристрій в 1912 р. Вартість цього електромобіля складає 1600 доларів США.

Електромобіль на той час коштував недешево, але він був дуже зручний в експлуатації. Миттєвий запуск двигуна, відсутність коробки передач і зчеплення, практично повна безшумність і небувалий на той час комфорт: внутрішнє електричне освітлення і обігрів ніг. Крім того, покупців приваблювала висока надійність, адже електродвигуни відрізняються від двигунів внутрішнього згорання дуже високою надійністю. На деякі машини

навіть спеціально встановлювали декоративні радіатори, щоб зробити їх більш привабливими на ринку серед водіїв-чоловіків [1, 2].

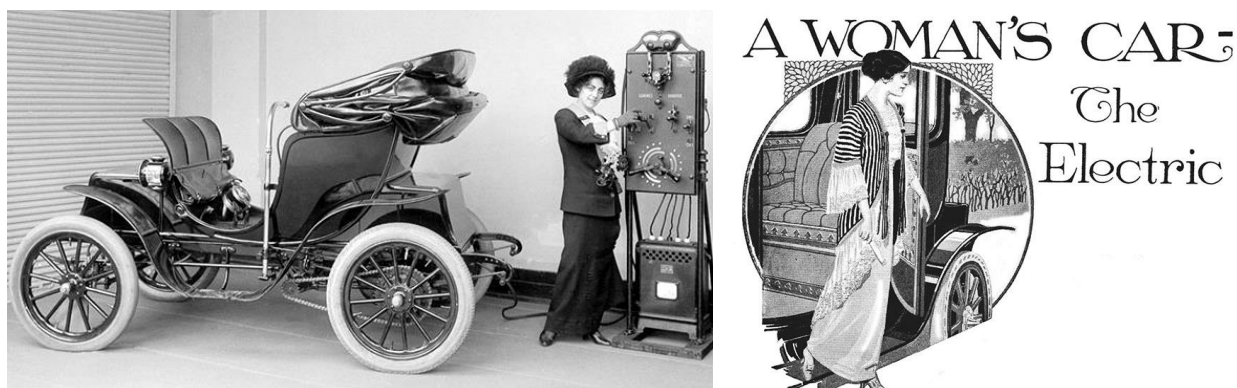


Рис. 1 Електромобіль, як жіноче авто: автоледі заряджає електромобіль Columbia Mark 68 Victoria (зліва) та обкладинка журналу 1912 р.

2. Основні етапи розвитку електромобілів

Проводячи аналіз досліджень щодо розробок та створення електричних транспортних засобів (електромобілів), можна умовно виділити шість етапів їх розвитку [1-4]:

- перший – зародження (1837-1895 рр.);
- другий – інтенсивного розвитку і конкуренції (1896-1930 рр.);
- третій – локального використання (1931-1960 рр.);
- четвертий – широкого проведення дослідно-конструкторських робіт і випуску великої кількості дослідних зразків і малих серій експериментальних електромобілів (1961-1982 рр.);
- п'ятий – певний спад робіт, викликаний різкою зміною кон'юнктури на нафтовому ринку і невдачами в експлуатації дослідних партій через недоліки джерел струму (після 1982-2010 рр.);
- шостий – відродження електромобілів, який пов'язаний з виходом на масовий ринок електрокарів таких відомих фірм, як, Tesla Motors (США), Nissan Motor Company (Японія), BYD AUTO (Китай).

На першому етапі розвиток електромобілів відбувалося паралельно з автомобілем. У ці роки автомобілі з ДВЗ ще не були серйозним конкурентом електромобілів. Це було обумовлено тим, що конструкція електромобілів була простіше і вони (як і автомобілі) використовувалися тільки в містах і здійснювали пересування в радіусі 10-15 км. Швидкість таких екіпажів не перевищувала 20 км/год.

Одними з найперших електричних транспортних засобів були екіпажі, створені в 1837 р. американцями Девенпатором і Пейджем, а також шотландцем Робертом Девідсоном. У 1838 р. Б. С. Якобі почав проводити дослід з двигуном, що живиться від батареї гальванічних елементів.

Перші електромобілі являли собою звичайний візок, який був оснащений електродвигуном. В 1828 р., угорець Аньос Джедлік використовував електромотор у схожій конструкції, рис. 2

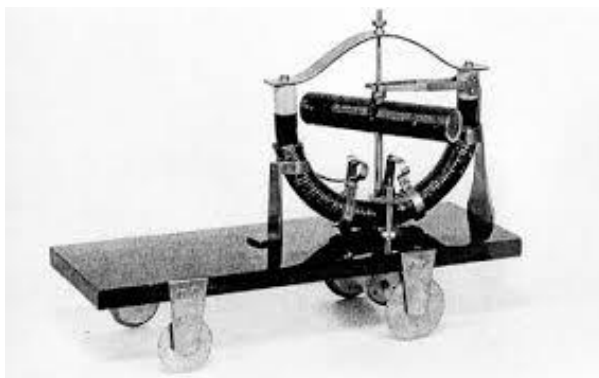


Рисунок 2 – Перший електромобіль - електровізок

В США у 1888 р. був представлений триколісний автомобіль. Десять свинцево-кислотних акумуляторів виробництва Electrical Accumulator Company важили близько 40 кг. Максимальна швидкість конструкції становила вісім миль на годину. Потужність двигуна – 0,5 кінської сили. Це був, скоріше, триколісний електровелосипед (рис. 3).

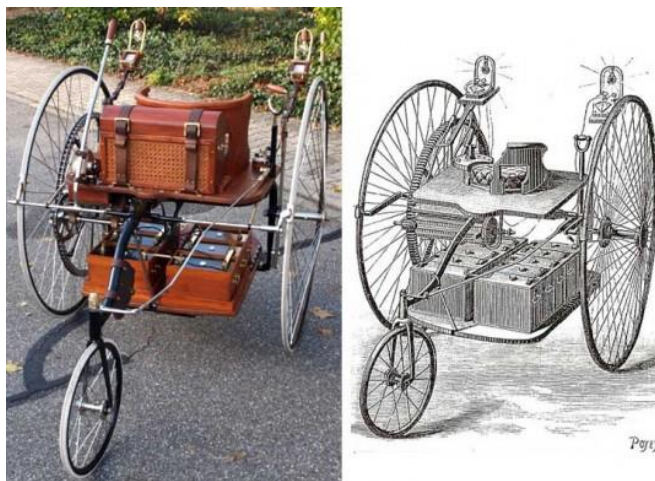


Рисунок 3 – Одна з перших моделей електромобіля зі свинцевими акумуляторами

Томас Перкер, відповідальний за електрифікацію лондонської підземки, спроектував і побудував свій електромобіль в 1884 р., при цьому він самостійно розробив акумулятор для свого електромобіля, рис. 4.



Рисунок 4 – Електромобіль Томаса Паркера 1884 р.

Другий етап характеризується значною конкуренцією в області створення автомобілів, виробництво яких стало помітно зростати. У цей період електромобілі починають випускатися серійно. Так, в 1897 р на вулицях Лондона з'явилися і успішно працювали електромобілі-таксі, зовні мало відрізнялися від традиційних англійських кебів (рис. 5) [5].



Рисунок 5 – Таксі в 1897 р.

Перше своє авто Ф. Порше зробив у віці 23 років в 1899 р. і це був електромобіль під назвою Egger-Lohner C.2, або «P1», рис. 6 [6]. Ф.Порше використав електродвигун потужність від 3 к.с. до 5 к.с. Номінально в штатному режимі він видавав 3 к.с., але зі спеціально розробленим Порше пристроєм "Перевантаження" потужність сягала 5 к.с. Електромотор приводив задні колеса в рух через 12-ступінчасту коробку передач. Свинцево-кислотні акумулятори забезпечували запас ходу в 80,5 км (максимальна швидкість – 30 км/год.). Вага акумуляторів становила 500,3 кг, при загальній вазі транспорту в 1359,4 кг.



Рисунок 6 – Перший автомобіль Ф. Порше, 1899 р.

У Франції в 1906 р було організовано серійне виробництво легкових електромобілів, що мали запас ходу до 80 км і максимальну швидкість руху до 30 км/год.

У 1899 р. з'явилися перші російські електромобілі, створені інженером І. В. Романовим, а в 1901 р. їм був побудований перший 15-місцевий електроомнібус (рис. 7).



Рисунок 7 – Легковий 2-місний електрокеб і 15-місцевий електроомнібус російського інженера І. Романова

Електромобілі вже на протязі другого етапу свого розвитку почали встановлювати швидкісні рекорди. Так, в 1898 р. електромобіль досяг швидкості 63,3 км/год. Саме на електромобілем вперше в світі був подоланий рубіж швидкості 100 км/год. У 1899 р. електромобіль La Jamais Contente у французькому місті Ашер (поблизу Парижа) досяг швидкості – 105,882 км/год (рис. 8).



Рисунок 8 – Електромобіль La Jamais Contente, 1899 р.

В цей період електромобілі займали значну частку з усіх транспортних засобів, що були в експлуатації. Наприклад, в США до початку XX століття з усього числа автомобілів 38 % мали електричні двигуни, 40 % – парові, 22 % – бензинові.

Для першого десятиліття цього періоду характерний підйом в розробці і виробництві електромобілів, а потім деякий спад. У цей період серійне виробництво електромобілів було організовано в Англії, Німеччині, США, Франції, Японії та інших країнах. Так, в 1912 р. в США було випущено 6000 легкових і 4000 вантажних електромобілів. Електромобілі мали, в середньому, запас ходу 50-80 км, а швидкість 20-35 км/год. При цьому слід зауважити, що вантажні електромобілі мали відносно велику вантажопідйомність, яка іноді перевищувала 6 т, а енерговитрати на переміщення були досить малі – 0,054-0,095 кВт·год на 1 т·км повної транспортної роботи електромобіля (рис. 9) [7]. Як приклад (табл. 1) наведені деякі техніко-експлуатаційні характеристики електромобілів розглянутого періоду [3].



Рисунок 9 – Електромобіль, вантажівка-рефрижератор чиказької фірми Walker для транспортування морозива, 1920 р.

Таблиця 1 – Технічні характеристики електромобілів (за період 1916-1930 рр.)

Електромо білі	Рік випу с-ку	Корисне навантаже ння, кг	Повн а маса з грузо м, кг	Батарея		Зап ас ход у, км	Максимальна швидкість , км/год
				Енергоємність, кВт·год	Вага, кг		
Легковий	1923	244	2234	18,1	780	85	39
	1926	210	1110	9,6	----	100	35
Електробус	1916	1650	5500	24,0	860	70	27
	1924	2500	12000	60,5	3100	62	26
Фургон	1923	579	2700	16,2	800	67	30
Грузовий	1923	5972	12061	45,0	1600	55	22
	1923	2000	4750	20,7	1100	----	----
	1924	1470	4554	26,9	1000	68	26,5
	1924	6468	13835	52,5	2150	47	18
	1926	1030	3645	17,2	900	75	20,7
	1926	4070	9100	28,4	1500	58,7	17
	1929	3500	8760	28,4	1560	60	26

У 1918-1928 рр. спрощені конструкції електромобілів у вигляді електровізків знайшли широке застосування в якості технологічного транспорту на машинобудівних підприємствах, рис. 10.

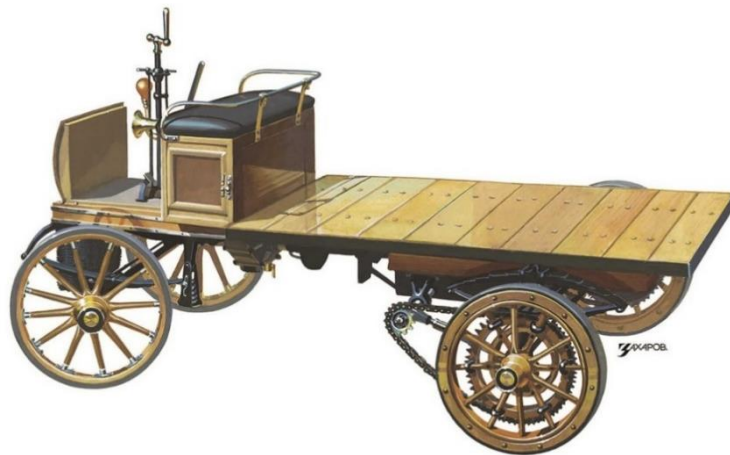


Рисунок 10 – Одна з конструкцій електромобіля у вигляді електровізка

В перші десятиліття ХХ століття підвищилася конкурентоспроможність автомобілів з ДВЗ по відношенню до електромобіля. Це пояснюється подальшим вдосконаленням конструкції поршневих двигунів, що забезпечило автомобілів швидкості руху, що перевищують 80 км/год, а запас ходу до 300 км. Це дозволило використовувати автомобіль за межами міста [4].

Третій етап характерний тим, що вже на початку 30-х років ХХ століття виробництво електромобілів різко скоротилося. Лише в окремих країнах, таких як Великобританія, Німеччина і США, тривав їх випуск невеликими партіями. Електромобілі використовувалися на перевезеннях, де були потрібні невеликі пробіги і невисокі швидкості руху. У 1939 р. кількість електромобілів в Німеччині становила понад 9 тис., а до 1944 р. досягло 20 тис. Одиниць. Останнє пояснюється наміром уряду Німеччини зменшити залежність від імпортного нафтового палива.

На третьому етапі також спостерігається зростання виробництва електромобілів в Англії. Так, з 1930 по 1960 рр. їх кількість зросла в 15 разів і досягла 26 тис. одиниць. При цьому електромобілі ефективно використовувалися в процесі централізованої доставки додому різних товарів з торговельної мережі, перевезення посилок і пошти. Там, де не потрібні великі середньодобові пробіги і високі швидкості руху транспортних засобів.

Роботи по розробці електромобілів велися також і в радянському союзі. Так, в 1935 р. на базі автомобіля ГАЗ-А був побудований перший радянський електромобіль. В цей же час в лабораторії електричної тяги Московського енергетичного інституту під керівництвом проф. В. Е. Резенфорда і інж. Ю. М. Галкіна був створений двотонний електромобіль на базі автомобіля ЗІС- 5.

У 1948 р. у Науково-дослідному автомобільному і автотранспортному інституті (НАМІ) були розроблені і виготовлені електромобілі вантажопідйомністю 0,5 т і 1,5 т, чотири зразки яких використовувалися для перевезення пошти в Москві, рис. 11. Потім 10 дослідних зразків цих електромобілів, виготовлених Львівським автобусним заводом, експлуатувалися в період з 1952 до 1958 рр. в Ленінграді (Санкт-Петербурзі); вони також в основному використовувалися для перевезення поштових вантажів. Деякі дані про техніко-експлуатаційних параметрах цих електромобілів наведені в табл. 2 [3, 8].

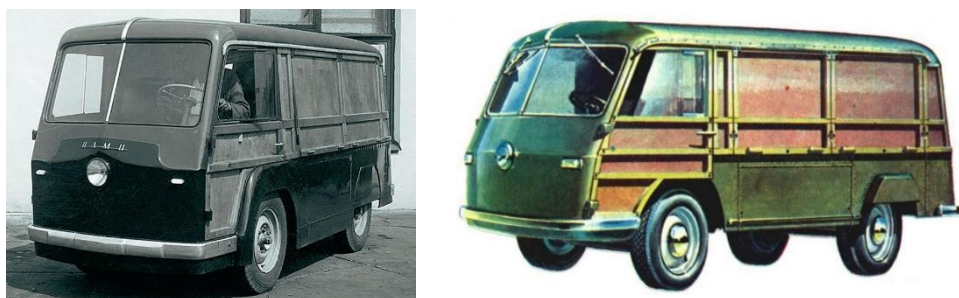


Рисунок 11 – Загальний вид електромобілів НАМІ ЛАЗ вантажопідйомністю 0,5 т (ліворуч) і 1,5 т (праворуч)

У 1957 р. в НАМІ були розроблені нові зразки електромобілів тієї ж вантажопідйомності, а через два роки НАМІ спільно з Ульяновським автозаводом імені В.І. Леніна був виготовлений дослідний зразок електромобіля вантажопідйомністю 0,8 т на базі автомобіля УАЗ-450. В цей же період був створений перший радянський електробус на базі тролейбуса СВАРЗ місткістю 70-80 чол., рис. 12 [9].

Таблиця 2 – Техніко-експлуатаційні характеристики електромобілів НАМІ

Параметр	НАМІ-750	НАМІ-751
Вантажопідйомність, кг.	500	1500
Маса в спорядженому стані, кг	1765	2640
Маса тягової акумуляторної батареї, кг.	685	1100
Запас ходу, км.	55	70
Максимальний середній експлуатаційний запас ходу, км.	45-50	55-60
Максимальна швидкість руху, км.	33	30



Рисунок 12 – Електробус, побудований для аеропорту Внуково на базі тролейбуса СВАРЗ

Найперша модель Ульяновського електромобіля УАЗ-450ЕМ була розроблена в 1959 році на базі серійного УАЗ-450 і УАЗ-450А. Призначалася вона для обслуговування аеродромів. На електромобілях застосовувалися тягові акумуляторні батареї, розбиті на 2 секції, встановлені під підлогою кузова по обох бортах у спеціальних ящиках, рис. 13 [10]. Отже, в період з 1930 по 1960 рр. в Радянському Союзі регулярно проводилися експериментальні дослідження з розробки та використання електромобілів в народному господарстві країни, хоча широкого застосування вони не отримали.



Рисунок 13 – Перша модель електромобіля УАЗ-450ЕМ

Четвертий етап, починаючи з середини 60-х років ХХ століття, характеризується новим підвищенням інтересом до електромобілів у багатьох промислово розвинених країнах.

Особливо інтенсивно почали вони розроблятися в США, Японії, Німеччині та Англії, що обумовлено головним чином загостренням енергетичної та екологічної проблем. В кінці 60-х і початку 70-х років ХХ століття утворилася енергетична криза в багатьох капіталістичних країнах, що свідчить про те, що ресурси нафтових палив для автомобілів з ДВЗ є обмеженими.

З іншого боку, велика насиченість міст автомобільним транспортом викликала різке підвищення рівня забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами. З огляду на те, що електромобілям не потрібно рідке паливо і вони практично не створюють шумового забруднення і токсичних викидів на магістралях і вулицях міст, вчені та інженери зробили спробу з їх допомогою сприяти вирішенню екологічної проблеми.

У зв'язку з цим в період з 1966 по 1971 рр. було розроблено найбільшу кількість дослідних зразків електромобілів, хоча подальшого помітного розвитку і застосування вони, як правило, не знаходили. Нерідко такі розробки носили рекламний характер.

На п'ятому етапі розвитку електромобілів спостерігався спад їх виробництва, який був викликаний різкою зміною кон'юнктури на нафтовому ринку і невдачами в експлуатації дослідних партій через недоліки акумуляторних батарей (АКБ). Отже, наведемо тільки пару прикладів виробництва електромобілів в цей період, які найбільш яскраво його характеризують.

В Радянському союзі в період з 1980-1985 рр. було випущено 65 одиниць електромобілів УАЗ-3801, рис. 1 [12]. Корисна вантажопідйомність до 800 кг. Маса акумуляторів 680 кг. Повна маса 2750 кг. Однієї зарядки вистачало на 48-50 км пробігу, а бортовий зарядний пристрій всього за годину заряджає АКБ майже на 70%. Після установки системи рекуперації (при гальмуванні заряджалась батарея) пробіг виріс до 70-75 км. Для зими встановили бензиновий опалювач від автомобіля ЗАЗ. У жовтні 1978 р. головний конструктор Кузнецов демонстрував розробку на всесвітній виставці

електромобілів в Філадельфії і це був єдиний електромобіль, який працював на змінному струмі. Зараз, перевага віддається саме змінному струмі.



Рисунок 1 – Електромобіль УАЗ-3801

У 1976 році на Єлгавському автозаводі виготовлено партію мікроелектробусів РАФ-2203 [13]. На ці електромобілі встановлювали двигуни потужністю 23 кВт. АФ-2203 вміщав 10 осіб (включаючи водія) і розвивав швидкість до 60 км/год. АКБ (їх загальна маса 630 кг) забезпечували запас ходу близько 70 км. Пізніше під час олімпіади 1980 р. в Москві деякі суддівські автомобілі були перероблені в електромобілі оснащені сонячною панеллю, рис. 2. Також проводились роботи з моделлю РАФ-2210 в якості електромобіля. В 1982 р. 3 таких машини доставлені в Москву в якості таксі, рис 3.



Рисунок 2 – Мікроелектробус РАФ-2203



Рисунок 3 – Електромобіль РАФ-2210

Основною причиною застою в розвитку сучасних конструкцій електромобілів стало відсутність нових джерел струму, що володіють високою енергоємністю при невеликій їх вартості.

Найбільшої уваги в цьому періоді заслуговує електромобіль EV1 (Electrical Vehicle 1) – авто компанії General Motors. Цей електромобіль випускався з 1997 р., в другому поколінні – з 1999 р. Він був доступний тільки в Каліфорнії і Арізоні і тільки на умовах лізингу [14], рис. 4.

У першому поколінні були встановлені звичайні свинцево-кислотні акумулятори. Було вироблено 660 авто. На другому поколінні EV-1 встановлювалися нікель-метал-гидридні акумулятори. Було вироблено 457 авто.



Рисунок 4 – Електромобіль EV1

Технічні характеристики електрокара EV1: запас ходу на свинцево-кислотних АКБ складав від 90 до 120 км, на нікель-металгідридних АКБ – до 240 км; EV1 розганяється з місця до 96 км/год за 9 с і розвивав швидкість в 129 км/год (примусово обмежену на цій позначці); вага автомобіля 1400 кг; батарея NiMH "Nickel Metal Hydride" важила 416 кг, енергоємність 18,7 кВт·год; двигун: трифазний електромотор змінного струму потужністю 102 кВт (138 л.с.); замість коробки передач – двоступеневий редуктор; кузов – просторова зварна несуча конструкція з алюмінієвого сплаву, вагою 132 кг.

Всього було вироблено 1117 шт. EV-1. У 2003 р. програма була закрита. Електромобілі вилучені у користувачів і знищені. У музеях залишилося лише 2 електромобіля.

Шостий етап розвитку електромобілів можна умовно назвати, як відродження. Умовний термін його початку – після 2010 р. Перед його початком, в 2003 р. засновано одну з найвідоміших сучасних компаній Tesla Motors (США). Це американська автомобільна компанія з Кремнієвої долини, орієнтована на виробництво електромобілів. Названа на честь всесвітньо відомого електротехніка і фізика Ніколи Тесли. В 2006 р. компанія представила свій перший спортивний електромобіль Tesla Roadster [15 – 17].

Tesla Roadster має 3-фазним 4-полюсним асинхронним двигуном змінного струму. Управління – частотне. Реалізовано повітряне охолодження. Силова установка здатна створювати потужність порядку 248 к.с. (185 кВт) і крутний момент в 270 Н·м. Передача крутного моменту відбувається через одноступінчатий редуктор (BorgWarner) на задній міст. За 3,9 с таке авто може

розігнатися майже до 100 км/год. Виробниками встановлено обмеження максимальної швидкості – 201 км/год. При цьому запас ходу становить 300 км.

Модель, яка стала другою за рахунком від Tesla Motors, стала Tesla Model S, рис. 5. Це авто преміум класу у вигляді 5-дверного ліфтбека. Попит на Tesla Model S був величезним в самій Каліфорнії і в Норвегії відразу ж після презентації. Виробництво S-моделі було налагоджено у Каліфорнії і Голландії. Дана модель завоювала чимало нагород, серед яких «Автомобіль року 2013» (за версією журналу Motor Trend, США).



Рисунок 5 – Електромобілі Tesla Model X (ліворуч) та Tesla Model S (праворуч)

Перший реліз Model S пройшов на виставці у Франкфурті в 2009 р., Зовнішній вигляд S-моделі мав кодову назву «White star». У 2012 р. авто надійшов у продаж. Починаючи з 2012 р., по 2016 р. по всьому світу продано близько 50 тис. одиниць Tesla Model S. Попит на цей електромобіль був настільки високим, що з конвеєра сходило близько 1000 машин на тиждень. І це не дивно, бо починаючи з 2013 р. Tesla Model S вважається одним з найбезпечніших автомобілів. Національне агенство по безпеці дорожнього руху в США признало цей автомобіль самим безпечним на теренах США [18]. Технічні характеристики Model S: розгін з 0 до 100 км/год: 2,28...4,4 с (в залежності від моделі); максимальна швидкість: 201-250 км/год (в залежності від моделі); запас ходу – 506 км (по американським нормам) та 613 км (по європейським нормам); час повного заряду акумулятора: 35 хв (через SuperCharger).

У лютому 2012 р. компанія анонсувала новинку – модель Tesla Model X, яка з'явилася на ринку вже в 2016 р., а в середині 2014 р. оголосила щодо підготовки до виходу бюджетної версії – автомобіля Tesla Model 3, базова версія якого складає \$35000.

Тільки що з'явившись електромобіль Tesla Model X вже зміг отримати престижну європейську премію «Золотий руль 2016» в номінації найкращий SUB [19]. Отже, це свідчить лише про одне – за електромобілями майбутнє.

Ще один електромобіль, який не можливо пропустити по за увагою – це Nissan Leaf. Бо цей електромобіль, на цей час, є найбільш поширеним у всьому світі в сегменті електрокарів. Nissan Leaf – електромобіль японського концерну Nissan, що серійно випускається з весни 2010 р., рис. 6 [20]. Світова прем'єра відбулася на міжнародному токійському автосалоні в 2009 р.



Рисунок 6 – Електромобіль Nissan Leaf

В кінці листопада 2010 р. Nissan Leaf був оголошений першим серед електромобілів переможцем конкурсу Європейський автомобіль 2011 р. (англ. European Car of the Year) [21]. У наприкінці квітня 2011 р. Nissan Leaf був також оголошений першим переможцем конкурсу Всесвітній автомобіль 2011 р. (англ. World Car of the Year) [22].

Leaf – по-справжньому перший масовий електромобіль, продажі якого почалися по всій земній кулі. Електродвигун електромобіля розвиває 80 кВт і 280 Нм. Живлення двигуна сповнюється від літій-іонної батареї ємністю 24 кВт·год., вагою 300 кг, що розташована під підлогою салону та визначає низький центр ваги і, як наслідок, непогану керованість. Електромобіль Leaf має два гнізда для зарядки – один для зарядки від однофазної мережі (звичайна розетка), другий – спеціальний роз'єм для зарядки від трифазної мережі. Від електричної мережі 220 В акумулятор повністю заряджається за 8 годин. Повністю зарядженої батареї вистачає на 160 км [23].

Також слід ще зупинитися на одній з найбільш відомих компаній з Китаю, яка займається виробництвом електротранспорту – це BYD AUTO [24].

Компанія BYD була заснована в 1995 р. як виробник акумуляторних батарей. Вона практикується на ІТ-розробках, автомашинах і альтернативних видах енергії. Зараз є світовим лідером з виробництва акумуляторів і систем енергозбереження. Виробничі потужності знаходяться в Китаї, країнах Європи та Японії.

З 2003 р., спільно з випуском акумуляторів, BYD – єдиний китайська виробник автомобілів, який експонує власні авто на Женевському автомобільному салоні і має консульства на всіх континентах. З 2008 р. фірма серійно виготовляє і реалізує гібридні авто, а з 2009 р. розпочато створення електромобілів, а вже з 2010 розпочато спільний проект з виробництва електромобілів з Daimler AG. У 2010 р. фірмою було зроблено понад півмільйона авто, і BYD зайняла 1 місце в списку найбільш технологічних компаній світу (за версією Business Week), випередивши таких гігантів як Apple і Google, і 2 місце з числа автомобільних компаній, випередивши Ford, Volkswagen і BMW.

Прототип моделі BYD Е6 був представлений на автосалоні в Пекіні в 2008 р., рис. 7. У січні 2010 р. в Детройті дебютувала передсерійна версія авто, а роком пізніше – готова до масового виробництва. Електромобіль BYD Е6 оснащений електромотором потужністю 101 к.с. (75 кВт; 450 Нм), який живиться

від залізо-фосфатного акумулятора власної розробки. Без підзарядки електромобіль здатний проїхати в міських умовах до 300 км, розганяючись до 100 км/год за 12 с, а максимальна швидкість Е6 може скласти 140 км/год [25, 26].



Рис. 7. Електромобіль BYD E6

3. Аналіз світових тенденцій в царині електромобілів

Ринок електромобілів тільки но починає свій розвиток, але вже на цей час досить наочно представляється те, що в недалекому майбутньому (років 5 – 10) в світі буде спостерігатися бум в електромобілебудуванні. За прогнозами фахівців вже в 2020 – 2022 рр. електромобілі зрівняються в ціні з автомобілями з ДВЗ такого ж класу. На цей час, головними недоліками електромобілів є автономний запас ходу та сам час зарядки. Але ці питання знаходять своє вирішення, більше того, ряд автовиробників вже запропонували свої рішення стосовно автономності ходу електромобіля. Так, наприклад компанія Tesla Motors активно проводить тестування свого електромобіля з запасом ходу близько 1000 км. А після 2020 р. фахівці з Tesla Motors прогнозують появу автомобіля з пробігом 1167 км [27].

Інший приклад, у 2015 р. компанія nanoFlowcell AG представила електрокара Quant F та Quantino, рис. 8 [28]. Особливістю представлених електромобілів є система рідких проточних батарей, електроенергія в яких виробляється за рахунок проходження двох окремо «заряджених» рідин через спеціальну комірку. Запас ходу від одної зарядки складає більше 1000 км.



Рис. 8. Електромобілі nanoFlowcell Quant F (зліва) та Quantino (зправа)

Найбільш вагомий внесок в подальше «гучне» майбутнє електромобілів зробили два американські виробники автомобілів – Tesla Motors та General Motors. Ці фірми представили на ринок електромобілів свої авто на електричній тязі в середньому класі легкових автомобілів з досить пристойними характеристиками та прийнятною ціною. Це Tesla Model 3 та Chevrolet Bolt EV, рис. 9 [29].



Рис. 9. Електромобілі Tesla Model 3 (ліворуч) та Chevrolet Bolt EV (праворуч)

Ці електромобілі вартістю менше \$ 40000, які будуть долати відстань більше 300 км на одному заряді, з'являться вже до кінця 2017 р. На Tesla Model 3 ще до початку офіційних продажів вже отримано більш ніж 400 тис предзамовлень. Так, для порівняння, самий розповсюджений електромобіль Nissan Leafn нараховує з 2010 р. близько 275 тис. проданих авто [30]. Chevrolet Bolt EV – машина General Motors стала першим електромобілем, яка завоювала нагороду (номінація «North American Car of the Year» (Краще авто 2017 р. в Північній Америці) [31]. Очікується, що саме ці два електромобіля будуть задавати тренд на найближче майбутнє в світі «зеленого» автотранспорту на електричній тязі, призначеного для масового споживача.

Отже, можна впевнено стверджувати, що за електромобілями майбутнє, адже ці автомобілі є екологічним видом транспорту, що здобули популярність у світі. Так, керівництво розвинених країн у різний спосіб заохочує громадян купувати їх. Тобто, у всьому світі для покупців автомобілів на електротязі створюються різноманітні преференції: податкові пільги, компенсації вартості авто, безкоштовні паркінги тощо. Наприклад, у Китаї покупець отримує компенсацію в розмірі близько 35% вартості авто, а в США така «знижка» становить 25%. У деяких країнах – Португалії, Іспанії, Франції, Ірландії та інших – уряд виплачує субсидію в розмірі від 5 000 до 7000 євро (залежно від моделі) кожному покупцеві. В таких країнах, як Великобританія, Данія, Німеччина прямих субсидій на придбання електромобілів немає, але всіх покупців звільняють від сплати транспортного податку на певних термін (до 5 років) або від збору при реєстрації. Також в США представлено на розгляд законопроект, по якому власникам електромобілів будуть платити по \$250 на місяць для покриття розходів на зарядку машини. В Китаї реалізується цілеспрямована державна програма, щодо заохочення переходу на автотранспорт, який не шкодить навколишньому середовищу [32].

Світові тенденції, щодо розвитку електромобілів є вже незворотними. Так в Європі планують обладнати зарядками кожен новий або відремонтований будинок. Проект цієї директиви ЄС, набуде чинності до 2019 р. Крім того, до 2023 р. 10 % паркувальних місць в новобудовах ЄС повинні бути обладнані станціями зарядки. [33]. У Німеччині виступають за заборону реєстрації нових автомобілів з ДВЗ з 2030 р. Німеччина також виступає за те, щоб це рішення діяло на всій

території ЄС. Також уряд Німеччини з липня 2016 разом з автобудівниками виплачує кожному покупцеві премію: €4000 за чистий електромобіль і €3000 за гібрид. Програма субсидування розрахована як мінімум на 300000 автомобілів [4]. Національний план з розвитку транспорту Норвегії передбачає припинення з 2025 р. реєстрацію нових автомобілів з ДВЗ. На даний момент в Норвегії частка електрокарів близько 28%.

На останок, для більшої наочності неминучого процесу «електромобілізації», слід привести дані аналітики. Так, фахівці з аналітичного агентства **Bloomberg** прогнозують, що споживання бензину і дизеля автомобілями зменшиться на 75% до 2030 р.. Електрокари складуть близько 65% від загального числа транспортних засобів в Лондоні і Сінгапурі вже через 15 років. Вартість літій-іонних АКБ в 2015 р. знизилася на 65% – до \$ 350 за кВт·год. і, як очікується, до 2025 р. знизиться до \$ 100 за кВт·год [34].

Література

1. Ночное потребление // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://electroauto.com.ua/nochnoe-potreblenie.html>.
2. В Европе запретят двигатели внутреннего сгорания: все подробности // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://autonews.com.ua/v-evrope-zapretyat-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya-vse-podrobnosti/?utm_placement=0.
3. Мобільний додаток // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://tesla-club.com.ua/app/>.
4. Рынок электромобилей: Китай лидирует // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://newsyou.info/rynok-elektromobilej-kitaj-lidiruet>.
5. Топ-3 самых популярных электрокаров в Китае // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/transport/1891-top-3-samykh-populyarnykh-elektrokarov-v-kitae.html>.
6. За год число электромобилей в Украине увеличилось в 4 раза и составило 2600 единиц // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/transport/1968-za-god-chislo-elektromobilej-v-ukraine-uvvelichilos-v-4-raza-i-sostavilo-2600-edinit.html>.
7. В мире электромобилей станет больше 2 млн к концу 2016 // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/transport/1167-v-mire-elektromobilej-stanet-bolshe-2-mln-k-kontsu-2016.html>.
8. Электромобиль. Воспоминания о будущем. // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://www.startup.org.ua/2016/10/blog-post_19.html.
9. Электромобили. История и эволюция машин на батареях // Матеріали сайту – 2013. – Режим доступу: http://www.silver.ru/programms/test_dravv_onlayn/editions-of-the-program/materials-ElektromobiliIstoriyaievolyutsiyamashinnabatareyakh/
10. Бусыгин Б.Л. Электромобили / Б.Л. Бусыгин. – М.: 1979. – 273 с.
11. Этапы развития электромобилей и их конструкции // Матеріали сайту – 2010. – Режим доступу: <http://www.electro-machines.ru/content/etapy-razvitiya-elektromobilei>.

12. Електромобіль УАЗ-3801 с аккумуляторной энергоустановкой // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://www.uazbuka.ru/models/uaz-3801_electro.html.
13. Советские электромобили // Матеріали сайту – 2013. – Режим доступу: <http://back-in-ussr.com/2013/12/sovetskie-elektromobili.html>
14. General Motors EV1 // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/General_Motors_EV1.
15. Tesla Motors // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Tesla_Motors.
16. Революционер индустрии. История компании Tesla // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <https://www.iphones.ru/iNotes/436681>.
17. История развития Tesla Motors // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://autotesla.ru/auto-tesla/istoriya-razvitiya-tesla-motors.html>.
18. Водитель Tesla Model S на высокой скорости врезался в фуру и выжил // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://avtopoligon.info/news/voditel-tesla-model-s-na-vysokoi-skorosti-vrezalsya-v-furu-i-vyzhil-foto.html>.
19. Электрокроссовер Tesla Model X получил «Золотой руль» // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/transport/1679-elektrokrossover-tesla-model-x-poluchil-zolotoj-rul.html>.
20. Nissan LEAF // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Nissan_LEAF.
21. Электричество победило // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2010/11/30/elektrichestvo_pobedilo.
22. Nissan Leaf: 2011 World Car of The Year // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://money.cnn.com/2011/04/21/autos/leaf_world_car_of_the_year/index.htm.
23. Nissan Leaf // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecoautoinfo.com/Nissan/Nissan-Leaf.html>.
24. История BYD // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://www.auto-infosite.ru/info_istoriya-byd.html.
25. История марки BYD // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://www.autodealer.ua/news/istorija-marki-byd/>.
26. Автомобили BYD// Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://www.amkauto.com.ua/ru/auto/byd.html>.
27. Запас хода электрокаров Tesla перевалит за 1000 км // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://autogeek.com.ua/zapas-hoda-elektrokarov-tesla-uvelichitsya-za-1000-km/>.
28. Автомобили на "жидком" электричестве // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <https://www.drive2.ru/b/2849445/>.
29. Tesla Model 3 проти Chevrolet Bolt: 5 відмінностей, які потрібно знати для правильного вибору // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/stati/1937-tesla-model-3-protiv-chevrolet-bolt-5-otlichij-kotorye-nuzhno-znat-dlya-pravilnogo-vybora.html>.

30. В кафе Nissan посетители расплачиваются электроэнергией // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/energy/1843-v-kafe-nissan-posetiteli-rasplachivayutsya-elektroenergiej-video.html>.
31. Електромобіль Chevy Bolt став кращим автомобілем року в Северній Америці // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotechnica.com.ua/transport/1931-elektromobil-chevy-bolt-stal-luchshim-avtomobilem-goda-v-severnoj-amerike.html>.
32. Десять ознак початку буму електромобілів // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://www.dw.com/uk/десять-ознак-початку-буму-електромобілів/a-36114453>.
33. Кожен новий будинок у Європі планують обладнати зарядками для електромобілів // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://ecotown.com.ua/news/Kozhen-novyj-budynok-u-YEvropi-planuyut-obladnaty-zaryadkami-dlya-elektromobiliv/>.
34. Електромобілі наїхали на нафту. дослідження Bloomberg// Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <http://spokki.net/elektromobili-nayihaly-na-naftu-doslidzhennya-bloomberg/>.

Лекція № 2

Тема 2 Класифікація електромобілів та гібридних автомобілів

1. Класифікація електромобілів та гібридів

Розглянемо класифікацію електромобілів. Нижче приведено аббревіатуру яку будемо використовувати.

BEV - Battery Electric Vehicle

HEV - Hybrid Electric Vehicle; full hybrid vehicle

FCBEV - Fuel Cell Battery Electric Vehicle; battery-powered vehicle with fuel cell

PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle; vehicle with full hybrid drive and external charging facility

RXBEV - Range Extender Battery Electric Vehicle; battery-powered vehicle with additional generator drive to increase range (range extender)

Під терміном «електромобілі» слід мати на увазі всі автомобілі, які приводяться в рух за допомогою електричної енергії. До них відносяться як автомобілі, що приводяться в рух електродвигуном, що працює від акумуляторної батареї, так і гібридні автомобілі (повні гібриди) або автомобілі з паливними елементами.

В першу чергу електромобілі класифікуються відповідно до того, яким чином на електричний привід подається необхідна електроенергія.

Найпростішим типом гібрида можна назвати мікро гібрид.

Мікро гібрид. У цьому типі автомобіля електричні компоненти використовуються тільки для функції старт/стоп. Дана система вимикає двигун, коли автомобіль стоїть на місці. Двигун запускається автоматично після відпускання гальма і натискання педалі акселератора або педалі зчеплення в залежності від типу трансмісії.

Система Старт/стоп має ряд суттєвих недоліків. Збільшує число пусків двигуна, які повинна забезпечити акумуляторна батарея, а також підтримує всі електричні навантаження на автомобіль, поки двигун не працює. Що істотно зменшує ресурс АКБ.

Для вирішення цієї проблеми потрібні нові електронні методи контролю стану батареї, в тому числі State of Charge (SOC) і State of Health (SOH).

Також дана система не працюватиме, якщо температура навколишнього середовища буде нижче 0°C.

Отже, хоча й різні виробники транспортних засобів заявляють, що при використанні стандартних європейських циклів їзди, економія палива до 8% досягається шляхом установки системи «Стоп / Старт».

Але на практиці зекономлені на паливі гроші не покривають витрати на обслуговування автомобіля. Оскільки ця система збільшує навантаження на стартер, акумулятор і двигун.

Наступний тип гібридів це – м'які гібриди

Середні гібриди. Середній гібрид більш складний. У таких автомобілях встановлюється електродвигун потужністю 30-60 кВт. Електродвигун підтримує двигун внутрішнього згоряння. Тобто не можна керувати виключно електрикою. Середні гібриди мають систему рекуперативного гальмування.

Але слід зазначити, що різні м'які гібридні установки працюють по-різному.

Наступний тип гібридів це – повні гібриди

Повний гібрид. Повністю гібридні автомобілі можуть працювати тільки від акумулятора без використання традиційного двигуна. Це робить їх більш економічними, ніж середні гібриди. Електродвигун використовується на низьких швидкостях, де електродвигун набагато ефективніше ДВС. Це також означає, що ДВС не працює на холостому ходу при зупинці автомобіля. Результат – високоефективний автомобіль для їзди по місту.

Toyota Prius є найбільш добре відомий повним гібридним автомобілем. Іншим прикладом повного гібриду є Ford Escape Hybrid, який є винятком для більшості гібридів, в тому сенсі, що це позашляховик. Більшість гібридів є зазвичай легкими транспортними засобами, оскільки їм потрібно менше енергії для руху.

Наступний тип гібридів це – PHEV гібриди

PHEV. Акумулятори PHEV можна заряджати за допомогою розетки або зарядної станції, за допомогою ДВС або за допомогою рекуперативного гальмування. Транспортний засіб зазвичай працює на електроенергії до тих пір, поки не розрядиться акумулятор, а потім автомобіль автоматично перемикається на використання ДВС.

Наступний тип гібридів це – RXBEV гібриди

RXBEV. Також можна зустріти такий підтип гібридів як – RXBEV. RXBEV це електромобілі зі збільшеним запасом ходу. Ви скажете: «Так чим він відрізняється від PHEV?». А відмінність є, і досить таки суттєва. Справа в тому, що RXBEV – це повноцінні електромобілі. Вони здатні їхати виключно на електричній тязі, до моменту виснаження акумуляторних батарей. Після цього в дію вступає ДВЗ, однак його зусилля спрямовані не на обертання коліс, а на вироблення енергії для живлення акумуляторів електродвигуна. У певному сенсі RXBEV – це гібрид навпаки. (фото прикладу сучасного авто – Шевроле Вольт, мабуть)

Це був останній тип гібридного автомобіля. Більш детальна інформація про переваги та недоліки гібридних установок буде обговорюватися в окремій лекції. Далі, ми повертаємося до дослідження електричних транспортних засобів.

BEV. Акумуляторні електромобілі, або BEV, використовують електрику, що зберігається в акумуляторній батареї, для живлення електродвигуна і обертання коліс. Коли вони розряджені, акумулятори заряджаються від електромережі, або від електричної розетки, або від спеціального зарядного пристрою.

2. Водневий автомобільний транспорт

Водневий транспорт - це різні транспортні засоби, які використовують в якості палива водень. Це можуть бути транспортні засоби як з двигунами внутрішнього згоряння, з газотурбінними двигунами, так і з водневими паливними елементами.

Перший двигун внутрішнього згоряння, що працює на водні, створив Франсуа Ісаак де Ріваз (англ.) Рос. (1752-1828) в 1806 році. Водень винахідник виробляв електролізом води.

У блокадному Ленінграді бензин був у дефіциті, але водень був у великій кількості. Військовий технік Борис Шелищ запропонував використовувати повітряно-водневу суміш для роботи загороджувальних аеростатів. На водень перевели двигуни внутрішнього згоряння лебідок аеростатів. Під час блокади в місті на водні працювало близько 600 автомобілів.

Причини інтересу до водневого транспорту

Використання водню як енергоносія дозволить як істотно скоротити споживання викопних вуглеводневих палив, так і значно просунутися у вирішенні екологічної проблеми забруднення атмосфери міст шкідливими для здоров'я людини складовими вихлопних газів автомобілів і тепловозів.

У 2009 році приблизно 25% викидів вуглекислого газу в атмосферу Землі вироблялося в результаті роботи різного роду транспорту. За оцінкою МЕА, вже до 2050 року це число подвоїться і продовжить рости в міру того, як в країнах, що розвиваються буде збільшуватися кількість особистих автомобілів. Крім вуглекислого газу в атмосферу викидаються оксиди азоту, відповідальні за збільшення захворюваності на астму, оксиди сірки, відповідальні за кислотні дощі тощо.

У морському транспорті найчастіше використовуються низькоякісні дешеві сорти палива. Морський транспорт викидає оксидів сірки в 700 разів більше, ніж автомобільний транспорт. За даними International Maritime Organization викиди CO₂ морським торговим флотом досягли 1,12 млрд тонн на рік.

Іншою причиною підвищення інтересу до водневого транспорту є зростання цін на енергоносії (в даний час переважна їх більшість - вугілля, нафта і їх похідні), дефіцит палива, прагнення різних країн знайти енергетичну незалежність.

Водень може використовуватися в якості палива в звичайному двигуні внутрішнього згоряння. В цьому випадку знижується потужність двигуна до 82% -65% в порівнянні з бензиновим варіантом. Але якщо внести невеликі зміни в систему запалювання, потужність двигуна збільшується до 117% в порівнянні з бензиновим варіантом, але тоді збільшиться вихід окислів азоту через більш високої температури в камері згоряння і зростає ймовірність прогорання клапанів і поршнів при тривалій роботі на великій потужності. Крім того, водень при температурах і тисках, які створюються в двигуні, здатний вступати в реакцію з конструкційними матеріалами двигуна і

мастилом, приводячи до швидкого зносу. Також водень дуже летючий, через що при використанні звичайної карбюраторної системи харчування може проникати в випускний колектор, де також запалюється через високу температуру. Традиційні поршневі ДВЗ погано пристосовані до роботи на водні. Зазвичай для роботи на водні використовується роторний ДВЗ, так як в ньому випускний колектор значно віддалений від впускного.

Сучасне застосування

Автомобілі на водневому паливі вже виробляються. Серед компаній, які виробляють такі автомобілі - Toyota, Honda і Hyundai. Розробкою автомобілів на водневому паливі займаються також Daimler, Audi, BMW, Ford, Nissan та ін.

У 2016 році в Німеччині був представлений перший водневий поїзд - Coradia iLint компанії Alstom, поїзд почне курсувати за маршрутом Букстехуде - Куксхафен в Нижній Саксонії з грудня 2017 року. Передбачається, що в результаті вони замінять 4 тис. Дизельних регіональних поїздів, що діють в Німеччині на не електрофіційованих ділянках залізниць. У Alstom повідомляють, що інтерес до таких потягів також висловили Нідерланди, Данія і Норвегія.

В обмеженій кількості випускаються:

BMW Hydrogen 7 і Mazda RX-8 Hydrogen RE - двопаливними (бензин / водень) легкові автомобілі. Використовують рідкий водень.

Audi A7 h-tron quattro - прототип електро-водневого гібридного легкового автомобіля.

Автобус Ford E-450 у варіанті з водневим двигуном.

Міські низькою підлогою автобуси на водневому паливі компанії MAN Truck & Bus .

Транспортні засоби на паливних елементах

Останній тип автомобілів в нашій класифікації це Fuel cell battery electric vehicles (FCBEV).

FCBEV. Транспортні засоби на паливних елементах використовують газоподібний водень для живлення електродвигунів. На відміну від звичайних транспортних засобів, що працюють на бензині або дизелі, легкові і вантажні автомобілі з паливними елементами об'єднують водень і кисень для виробництва електроенергії.

Так як вони працюють виключно на електриці, транспортні засоби на паливних елементах вважаються електромобілями («електромобілями»), але на відміну від інших електромобілів їх дальність і процеси заправки можна порівняти зі звичайними легковими та вантажними автомобілями з ДВС.

На їх заправку йде менше 10 хвилин. Після заповнення автомобіль на паливних елементах може проїхати від 200 до 300 миль (322-483 km).

Але автомобілі з паливними елементами мають ряд недоліків:

1. Висока ціна.

2. Вибухонебезпечна суміш водню і повітря.
3. Водень зберігається в резервуарах високого тиску (35 МПа і 70 МПа).
4. Для заправки воднем потрібна мережа спеціальних АЗС.
5. Водень важко утримувати в рідкій формі (він має найбільшу летючість серед газів). Наприклад, всього за 9 днів половина паливного бака BMW Hydrogen 7 випаровується.
6. Процес виробництва водню є енергоємним.
7. Автомобілі з водневою установкою погані при низьких температурах.

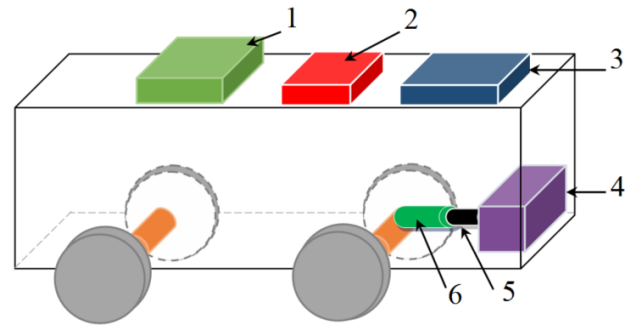
3. Електробуси та гібридні автобуси

Автобусний транспорт – це один з видів транспорту, що найбільш швидко розвивається в області енергоефективних технологій. Причинами цього стало введення більш жорстких екологічних норм, а також прагнення зменшити експлуатаційні витрати, як приватними підприємствами, так і державними організаціями. Тому гібридні технології (суміщення двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) з електродвигуном) та електротехнології знайшли своє застосування не тільки в легкових автомобілях, але також і в автобусах.

Гібридні автобуси дозволяють максимально знизити витрату палива, забезпечуючи мінімальний викид шкідливих речовин в атмосферу. Так, гібридна силова установка економить до 60 % енергії в порівнянні з традиційними дизельними агрегатами (при цьому зниження споживання палива доходить до 30 %), не кажучи вже про зниження шкідливих викидів в атмосферу на 70 %.

Існує кілька видів конструкцій гібридних автобусів. Одна з них представлена на рисунку 2.1.

На сьогоднішній день гібридний автотранспорт має одну з істотних переваг у порівнянні з електромобілями – велику автономність ходу за рахунок наявності ДВЗ. Це пов'язано з тим, що час заправки авто бензином або дизпаливом в рази менше, ніж час зарядки акумуляторних батарей (АКБ), до того ж мережа електрозаправок ще недостатньо розвинена (особливо в країнах із середнім і низьким економічним рівнем розвитку), а ємність АКБ, на даний момент, не дозволяє здійснювати поїздки на великі відстані. Але в решті передові позиції займає саме електротранспорт. Особливо це стосується електричних автобусів (електробусів), що обслуговують короткі маршрути в межах міста.



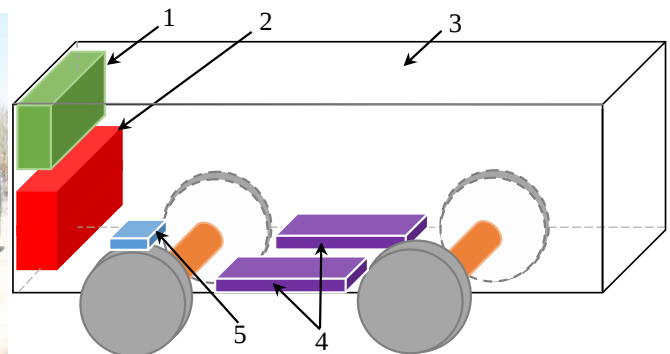
1 - АКБ; 2 - силова система контролю та управління; 3 - система охолодження; 4 - ДВЗ; 5 - електрогенератор; 6 - електродвигун

Рисунок 2.1 – Конструкція гібридного автобуса

На сьогодні турбування про навколишнє середовище стало вже не тільки трендом, а й необхідністю. Доказом тому є успішність використання електробусів для міських перевезень в розвинених країнах, рисунок 2.2. Найбільшим представником електробусів є компанія BYD Auto з моделлю K9 (Китай), рисунок 2.2,а. Ці електробуси здатні в міському режимі долати до 300 км шляху без підзарядки. Їх час зарядки становить 3 год на спеціальних терміналах [16].



а



б

а - зовнішній вид; б – конструкція;

1 – блок управління; 2 – система заряду; 3 корпус з алюмінієвого сплаву; 4 - АКБ; 5 – електродвигун змінного струму

Рисунок 2.2 – Електробус BYD K9

Компанія АВВ в Люксембурзі запустила системи автоматичного підключення на даху, що дозволяє зняти одну з головних перешкод для розширення використання міських електробусів - тривалий час зарядки з коротким проміжним пробігу (дивись рисунок 2.3) [17]. Час звичайної зарядки електробуса становить від 4 хв до 6 хв. Система може бути легко інтегрована в існуючі автобусні лінії з встановленням швидких зарядів на терміналах маршруту, зупинках, депо та (або) проміжних зупинках.



Рисунок 2.3 – Швидкий заряд електробусів (Люксембург)

Існуючі розробки електробусів дають можливість переобладнати транспортну інфраструктуру відповідно до сучасних вимог в області екологічної безпеки і при цьому обійти стороною проблему недостатньої ємності АКБ. Але незважаючи на це, залишається серйозна проблема високої вартості таких автобусів, а також складність і дорожнеча обладнання для їх швидких зарядок. Звичайно, можна збільшити ємність АКБ шляхом нарощування їх кількості, але це призводить до збільшення їх маса-габаритних показників. Тому проблема енергоємних АКБ для електротранспорту також є актуальною.

4. Електробус на паливних елементах

Ще одним альтернативним видом енергії для автотранспорту є паливний елемент. Паливний елемент, призначений замінити ДВЗ, складається з безлічі чарунк (маленьких генераторів). Напруга кожної чарунки від 0,6 В до 1,0 В. Поєднавши чарунки послідовно, можна отримати необхідну напругу. Сучасні технології дозволяють робити чарунки товщиною до 1,5 мм. Отже, можна домогтися того, що маса і габарити такої паливної установки залишаться тими ж, що і у ДВЗ без втрати потужності [18].

Основна перевага впровадження паливних елементів в автотранспортній техніці – це високий ККД. Наприклад, ККД сучасного автомобільного ДВЗ досягає від 30 % до 35 %, а ККД водневого паливного елемента - від 45 % до 85 % [19].

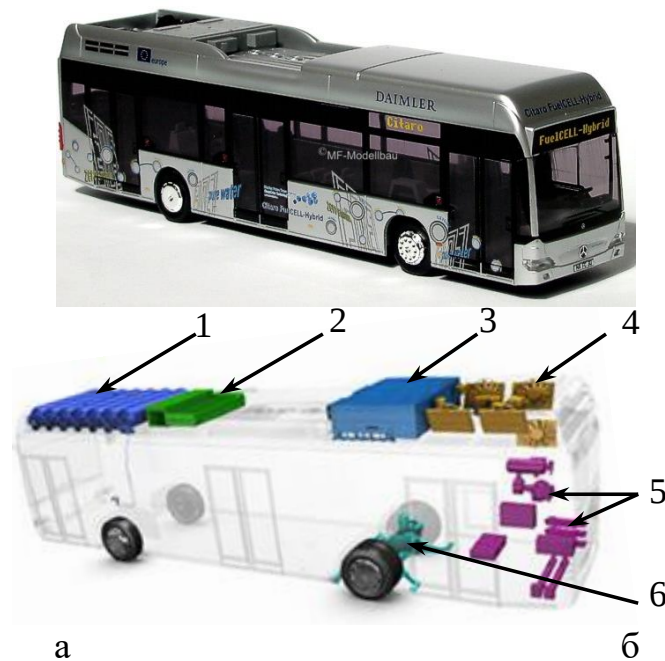
На автомобілях і автобусах встановлюють, як правило, паливні елементи на протон-обмінній мембрані. Їх основні переваги: компактність, мала вага, низька температура процесу.

Одним з основних недоліків паливної установки є її ціна (приблизно в 100 разів дорожче ДВЗ), тому що при її виготовленні використовуються дорогі матеріали і досить складні, енергоємні технології.

Але незважаючи на це в ЄС була прийнята програма Clean Hydrogen in European Cities (CHIC), що передбачає вихід на міські маршрути гібридних автобусів, що працюють на водні. Дана програма пропагує перехід автобусного парку на гібридні силові установки на основі водневих паливних елементів. Згідно з цією програмою вже з'явилося 26 нових автобусів з гібридними силовими установками (в Мілані, Лондоні, Осло, Больцано і

Аарау) [20].

У програмі СНІС беруть участь провідні європейські виробники автобусів - німецька компанія Mercedes-Benz, бельгійська VanHool і ірландська Wright. Так, компанія VanHool використовує гібридну серію AG300, розроблену спільно з американськими компаніями UTC Power і ISE Corp. AG300 оснащений електродвигунами і паливними елементами потужністю 120 кВт, які дозволяють автобусу розвивати максимальну швидкість 105 км/год, і при повній заправці воднем забезпечують дальність пробігу до 450 км. А компанія Mercedes-Benz, використовує екологічно чистий автобус другого покоління Citaro Fuel Cell Hybrid (рисунок 2.4) [21]. Ці автобуси з запасом водню в 35 кг, мають дальність пробігу до 250 км.



а

б

а - зовнішній вид; б - конструкція;

1 - балони H_2 ; 2 - АКБ; 3 - система управління; 4 - система охолодження;

5 - допоміжні компоненти; 6 - електропривод

Рисунок 2.4 – Електробус Citaro Fuel Cell Hybrid

Слід зазначити, що паливні елементи в якості джерела енергії для автобусів багато в чому перевершують різного типу акумуляторні батареї, так як вони мають кращі питомими енергетичними показниками. Для більшої наочності, на рисунку 2.5 показана практична дальність пробігу автотранспортного засобу з живленням від паливних елементів в порівнянні з свинцево-кислотними, нікель-метал-гідридних і літій-іонними акумуляторами [22].

Як відомо, нелінійна залежність в АКБ накладає обмеження на їх розмір і вагу. Паливні елементи володіють характеристиками, схожими з ДВЗ, і їх експлуатація для пробігу на великі відстані вимагатиме лише додаткового палива. Однак паливні елементи мають інертність і обмежений діапазон потужності, що вимагає додатково комплектувати транспортні засоби АКБ. У зв'язку з цим, автомобіль (автобус) на паливних елементах нагадує електромобіль з вбудованим зарядним пристроєм, який підтримує рівень

заряду акумуляторної батареї.

Поряд з тим, що автобуси на паливних елементах є екологічно чистим видом транспорту, що безсумнівно є їхньою перевагою.

Окремо слід відзначити і недоліки автотранспортних засобів на паливних елементах [23].

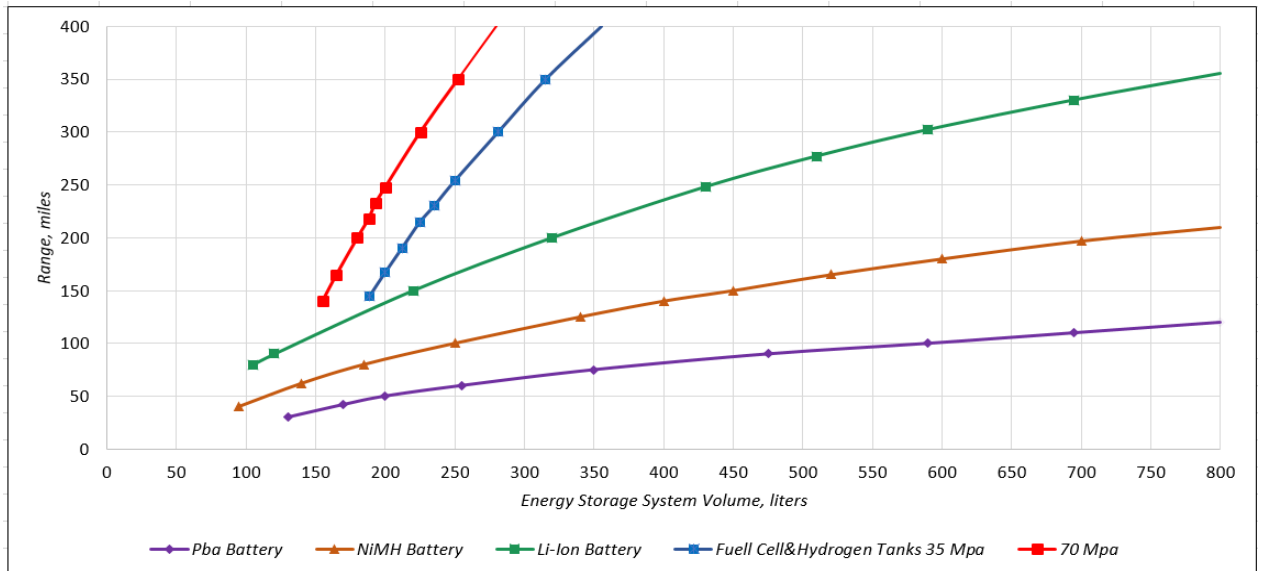


Рисунок 2.5 – Дальність пробігу в залежності від енергії, що накопичується в різних типах акумуляторів

Недоліки автотранспортних засобів на паливних елементах.

Суміш водню з повітрям вибухонебезпечна. Водень більш небезпечний, ніж бензин, так як горить в суміші з повітрям в більш широкому діапазоні концентрацій.

Водень зберігається в баках при високому тиску (35 МПа і 70 МПа). Для транспорту розробляються спеціальні безпечні системи зберігання водню – баки з багатошаровими стінками, зі спеціальних матеріалів тощо. Все це в цілому здорожує весь цикл експлуатації автотранспортного засобу.

Воднева силова установка на базі традиційного ДВЗ значно складніше і дорожче в обслуговуванні, ніж звичайний ДВЗ (від 10 до 100 разів).

Для заправки воднем потрібно побудувати мережу спеціальних заправних станцій. Для заправних станцій, що заправляють автомобілі рідким воднем вартість обладнання вище, ніж для заправних станцій, що заправляють автомобілі рідким паливом (приблизно в 10 разів).

Ціна \$ 8,47 за 1 л (що в перерахунку на бензиновий еквівалент становить \$ 2,86 за л).

Водень складно зберегти в рідкому вигляді (володіє найбільшою летючістю серед газів). Наприклад, всього за 9 дн. випаровується півбака палива BMW Hydrogen 7 [24].

Процес виробництва водню є енергозатратним. Самий простий спосіб отримання водню – це електроліз. Але для вироблення водню таким чином, слід витратити 4 кВт електроенергії, щоб виробити близько 1 м³ водню, який,

після того як згорить, дасть лише 1,8 кВт [25].

Всі ці недоліки зумовлюють пошук нових технологій у розвитку і реалізації екологічно чистих видів транспорту. До однієї з таких можна віднести електричні транспортні засоби з накопичувачами енергії у вигляді суперконденсаторів.

5. Електробус з суперконденсаторним накопичувачем енергії

Електробус з суперконденсаторним накопичувачем енергії – новий транспортний засіб є проміжною ланкою між звичайними електричним транспортом і тролейбусами. Автобус заряджається від особливо швидких зарядних установок під час посадки/висадки пасажирів і здатний їздити по маршруту без необхідності багатогодинний перезарядці батарей [26].

Наприклад, у Китаї, місто Нінбо, провінції Чжецзян, існує громадський транспорт, що використовує накопичувач енергії у вигляді суперконденсаторів. Цей електробус підзаряджається на зупинках громадського транспорту на початку та в кінці свого маршруту при посадці та висадці пасажирів (час заряду, приблизно. 10 с), дивись рисунок 2.6 [27].

Новим типом електрообусу є той, який розроблений компанією Zhuzhou Electric Locomotive. Компанія запропонувала забезпечити громадський транспорт спеціальним пристроєм на даху для швидкого заряду. На зупинках уздовж маршруту є опорні кронштейни з кріпленнями, що вставляються в шини. Одна така зарядка забезпечує 5 км пробігу автотранспортного засобу. Це працює завдяки властивостям блоків суперкондкнсаторів, що призначені для роботи понад мільйоні циклів. Це, приблизно, від 12 до 15 років і мають робочі температури від -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$ [27].



Рисунок 2.6 – Електробус з суперконденсаторним накопичувачем енергії
Zhuzhou Electric Locomotive

Наряду з наявними перевагами цих електробусів на суперконденсаторах є два істотних недоліки: малий пробіг на одній зарядці і необхідність у потужних та швидких зарядках, а значить і дорогих зарядних станціях, які здатні забезпечити повну зарядку блоку суперконденсаторів за декілька

секунд.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гнатов А. В. Електромобілі – майбутнє, яке вже настало / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О. А. Ульянець // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 24-28. – ISSN 2226-9266– Режим доступа: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE17_1/1.4.pdf
2. Vehicle Emission Standards. 2016. Available online: <https://infrastructure.gov.au/roads/environment/emission>.
3. G. Wang, “Advanced vehicles: costs, energy use, and macroeconomic impacts”, Journal of Power Sources, vol. 196, no. 1, pp. 530–540, 2011.
4. Чернышев А.Д. Сравнительный анализ различных типов электрических двигателей в составе тягового привода электрической трансмиссии / Чернышев А.Д. // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2016. Том 3, №3. – С. 47-54.
5. Радионов А.А. Формирование технических требований к автомобильной трансмиссии / А.А. Радионов, А.Д. Чернышев // Наука и производство Урала. – 2015. – №11. – С. 85-89.
6. Слепцов М.А. Основы электрического транспорта / М.А. Слепцов, Г.П. Долаберидзе, А.В. Прокопович, Т.И. Савинова, В.Д. Тулупов. – М: Издательский центр “Академия”, 2006. – 464 с.
7. Philip Dost; Michael Schael; Constantinos Sourkounis. Comparison of Control Methods for Asynchronous Motors within Electric Vehicles. 2014 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). 2014. Pages: 1 - 6.
8. Chuanwei Zhang; Nuoting Wang. Research on asynchronous motor control of electric vehicle. 2017 International Conference on Mechanical, System and Control Engineering (ICMSC). 2017. Pages: 165 - 1693.
9. Ene Lucian-Vasile; Sănătescu Diana-Ramona. Electric drive system for speed adjusting of a three-phase asynchronous motor using a PLC for propelling an electric vehicle. 2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). 2017. Pages: 597 - 600.
10. Rogério Paulo de F. Martins; Duarte M. Sousa; V. Fernão Pires; António Roque. Reducing the power losses of a commercial electric vehicle: Analysis based on an asynchronous motor control. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives. 2013. Pages: 1247 – 1252.
11. Huang, Wanyou; Wang, Guangcan; Yu, Mingjin. Analysis of the effect of driving motor on electric vehicle dynamic performance. INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES. 2017. – Volume: 9. – Issue: 4. – Pages: 350-360.
12. Автобус // Матеріали сайту – 2018. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автобус>.

13. S. B. Han, Y. H. Chang, E. Y. Lee, Y. J. Chung, and B. Suh, "Emissions simulation in a 7000 kg-grade diesel hybrid electric vehicle," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 105–110, 2010.
14. X. Hu, N. Murgovski, L. Johannesson, and B. Egardt, "Energy efficiency analysis of a series plug-in hybrid electric bus with different energy management strategies and battery sizes," *Applied Energy*, vol. 111, pp. 1001–1009, 2013.
15. Teemu Halmeaho; Pekka Rahkola; Jenni Pippuri; Kari Tammi, Hybrid city bus design evaluation using system level simulations. 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). Pages: 1671 - 1676, Doi: 10.1109/ISIE.2014.6864866, 2014.
16. Електробус BYD K9// Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <http://internetua.tv/index.php/press-releases/3120-byd-5.html>.
17. ABB launches fast charging robot for public buses. 2016. Available online: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/bc2c3a332d7a35c5c1257ee3002d9a19.aspx>.
18. Pablo Garcia; Luis M. Fernandez; Carlos Andres Garcia; Francisco Jurado. Fuel cell-battery hybrid system for transport applications. 2009 International Conference on Electrical Machines and Systems. Pages: 1 - 5, Doi: 10.1109/ICEMS.2009.5382685, 2009.
19. Amir Al-Ahmed; Safdar Hossain; Bello Mukhtar; S. U. Rahman; Habib Abualhamayel; Javaid Zaidi. Hydrogen highway: An overview. 2010 IEEE International Energy Conference. Pages: 642 - 647, Doi: 10.1109/ENERGYCON.2010.5771760, 2010.
20. C. Carnevali; R. Genova; P. Jenné; M. Mazzuchelli; M. Reijalt; G. Priano. Fuel cell electric buses and perspectives: High V.LO-city project authors. 2012 IEEE International Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON). Pages: 1039 - 1043, Doi: 10.1109/EnergyCon.2012.6347722, 2012.
21. Hybrid Fuel Cell Buses for Hamburger Hochbahn. 2011. Available online: <http://www.showtimesdaily.com/fleetsfuels/2826>.
22. Best energy. 2016. Available online: <https://best-energy.com.ua/support/battery/1188-bu-1005>.
23. Hydrogen explosion. 2008. Available online: <http://www.companion.ua/articles/content?id=17937&Callback=72>.
24. The world's fastest charging electric bus powers up in 10 seconds flat. 2015. Available online: <http://inhabitat.com/the-worlds-fastest-charging-electric-bus-powers-up-in-10-seconds-flat/>.
25. Sanae Dahbi; Abdelhak Aziz; Naima Benazzi; Mohamed Elhafyani, Optimised hydrogen production by a photovoltaic - Electrolysis system DC/DC converter and water-flow controller. 2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), Pages: 1 - 6.
26. Гнатов А. В. Автобусный транспорт, назначение и классификация. Электробус на суперконденсаторах / А. В. Гнатов, А. В. Пидгора // Автомобиль и электроника. Современные технологии: электронное

- научное специализированное издание. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 5-12. – ISSN 2226-9266– Режим доступа: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE17_1/1.1.pdf.
27. The world's fastest charging electric bus powers up in 10 seconds flat. 2015. Available online: <http://inhabitat.com/the-worlds-fastest-charging-electric-bus-powers-up-in-10-seconds-flat/> (accessed on 3 July 2016).

Лекція № 3

Тема 3 Екологія та економіка використання електромобілів та гібридних автомобілів

1. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище

Оскільки сучасна культура і технології продовжують розвиватися, зростаюча присутність глобального потепління і незворотні зміни клімату викликають все більшу стурбованість у населення світу.

Країни всього світу працюють над тим, щоб радикально скоротити викиди CO_2 , а також інших шкідливих забруднювачів навколишнього середовища. Серед найбільш помітних виробників цих забруднювачів – автомобілі, які приводяться в рух двигунами внутрішнього згоряння і викидають шкідливі для здоров'я викиди.

За різними даними, на легкові та вантажні автомобілі припадає майже 25% викидів CO_2 , а інші транспортні засоби – ще 12%.

Однією з можливих альтернатив світової залежності від стандартних автівок на ДВЗ є електромобілі. Даваймо обґрунтуємо це твердження.

Щоб оцінити вплив електромобілів на навколишнє середовище, потрібно розглянути кілька питань:

- 1) забруднення відпрацьованими газами автомобілів;
- 2) економічність палива;
- 3) джерела енергії;
- 4) ефективність автомобіля.
- 5) економічні показники
- 6) відпрацьовані акумулятори

2. Викиди електричного автомобіля

Існує досить поширений міф, що електромобілі так само забруднюють навколишнє середовище, як і автівки з ДВЗ. Просто, процес забруднення переноситься на стадію виробництва електрокара та процес генерації електроенергії. Це помилкове судження і воно повністю не відповідає дійсності.

Отже, почнемо з аналізу широко відомих фактів.

Електромобілі дуже сильно знижують викиди CO_2 . Так як електромобілі працюють на електриці, вони не виділяють вихлопних газів. Якщо проводити оцінку тільки за цим фактором, то електромобілі набагато більш екологічні, ніж звичайні.

Проте, при оцінці екологічності електромобіля, нам також необхідно прийняти до уваги викиди «well-to-wheel». Це всеосяжний термін, який включає в себе викиди парникових газів, енергоефективність і виробничі витрати.

Беручи до уваги викиди «well-to-wheel», кожен електромобіль викидає в середньому близько 4450 фунтів (2020 кг) в еквіваленті CO_2 щороку. Для

порівняння, звичайні бензинові автомобілі будуть викидати **в два рази більше** в рік.

Джерела енергії.

Важливо відзначити, що кількість викидів «well-to-wheel» в EV залежить від способу виробництва електроенергії. Наприклад: вироблення електроенергії з природного газу або при перетворення вугілля або на атомних станціях. До речі, природний газ часто вважається «найчистішим» викопним паливом, тому що він виділяє на 50-60 % менше вуглекислого газу, ніж вугілля.

3. Ефективність та економічні показники електромобіля

Ще одна причина, по якій електромобілі вважаються більш екологічними, ніж традиційні, полягає в тому, що ефективність електромобілів вища.

ККД електродвигуна дорівнює приблизно 90-95%. У той час як ККД ДВЗ двигуна знаходиться в районі 20% (дизельні біля 25 %).

Давайте розглянемо приклад щоб стало зрозуміліше. Ми порівнюємо електромобіль Tesla модел 3 і автомобіль з ДВЗ – BMW 3 серії. Важливо, щоб автомобілі були одного класу.

Отож, з одного літра нафти можна отримати від 150 до 800 мл бензину. Це залежить від способу виробництва бензину. БМВ при заявленій витраті 6,4 л на 100 кілометрів в змішаному циклі на 800 мл бензину проїде всього 12,5 км.

З електромобілем все цікавіше. При спалювання 1 літра нафти на сучасній тепловій електростанції з ККД у 40% ми отримуємо 3,4 кВт·год енергії. Заявлена виробником витрата у Модел 3 дорівнює 500 км від батареї на 74 кВт·год. А це значить що тесла проїде 23 км. Тобто майже в два рази більше ніж БМВ.

До того ж ми взяли найефективніший спосіб виробництва бензину. Якби бензин виготовляли способом перегонки, то різниця була б в 10 разів на користь електромобіля.

А ще слід врахувати те, що палива потрібно доставляти на заправну станцію бензовозом якому теж потрібен бензин.

Економічні показники.

Щоб не бути багатослівним приведу приклад з життя.

Власниця Tesla Model S виклала статистику експлуатацію свого авто. За 5 років вона проїхала 120 тисяч км. Їздила вона виключно по місту, а заряджала автомобіль в гаражі. Вона витратила майже 26 тисяч кВт·год енергії за які заплатила трохи більше 2000 доларів.

Якщо ми візьмемо аналогічний автомобіль з двигуном внутрішнього згоряння, то витрати на паливо склали б близько 14-15 тисяч доларів.

Ще одна причина економічності EV це відсутність постійного технічного обслуговування.

Автомобілі з ДВЗ складаються з декількох тисяч деталей. Багато з яких піддаються тертю і з часом вимагають заміни.

Навіть гальмівні колодки в електромобілях мають більший ресурс за рахунок рекуперативного гальмування.

Електродвигун складається з ротора і статора де зноситися можуть тільки підшипники.

Ресурс ДВЗ кілька сотень тисяч кілометрів і більшість з них вимагає серйозного ремонту кожні, приблизно, 150 тис. км. А, наприклад, Tesla Model 3, гарантовано може проїхати 1 млн. 600 тис. км. і не вимагати ремонту. До того ж, ніхто не враховує витрати енергії і викиди CO₂ при виробництві витратних матеріалів, а їх чимало.

Третя причина це розвиток відновлюваної енергетики. Сьогодні на це звертають дуже багато уваги. Це і субсидії від держави і Паризька угоду щодо зниження викидів. Наприклад, в Північній Америці за останні 8 років ціна мегавата електрики отриманого від сонця знизилася з \$ 350 до \$ 50. Вже зараз у багатьох країнах вироблення сонячної енергії дешевше, ніж від традиційних теплових електростанцій. Ця різниця у ціні буде постійно збільшуватися, адже запаси вуглеводнів обмежені.

Під поновлюваними джерелами енергії мається на увазі не тільки сонячні електростанції та вітроелектростанції, а й гідроелектростанції, геотермальні та приливні станції, а також біоенергетика. Деякі країни і окремі міста показують високий відсоток генерації від таких джерел і планують перейти на них повністю.

Ще одним важливим плюсом електромобілів є стабілізація енергосистем.

Справа в тому, що електрика на станціях виробляється впродовж доби рівномірно, а навантаження на мережу постійно скаче. Наприклад, вночі енергії потрібно набагато менше ніж днем, але генератори електростанції продовжують виробляти електрику. Виходить, що невживана енергія розсіюється. А це зовсім не економічно. Але тут на допомогу приходять електромобілі. Якщо вночі підключати їх до мережі, то вони могли б запасати це електрику. А потім віддавати енергію назад в мережу для стабілізації енергосистеми. Це стає можливим завдяки все більшому запасу ходу сучасних електрокарів, від 300 км. Адже згідно дослідження, в середньому, автомобіль проїжджає всього 30 км. в день. Такі системи стабілізації вже розробляють деякі виробники, наприклад Nissan.

4. Утилізація акумуляторних батарей.

І ще одне важливе питання – це утилізація батарей. Проблема цікавить не тільки екологів а й самих виробників. В акумуляторі міститься нікель, кобальт, мідь, літій та інші метали в залежності від типу батарей. І отримання цих металів від переробки акумуляторів в рази дешевше і простіше, ніж їх видобуток.

Сучасні тягові акумулятори досить довговічні. Наприклад, сервіс таксі **НАЗВА** поділився даними про експлуатацію Tesla Model X. Після 480 тисяч кілометрів пробігу батарея деградувала всього лише на 10% і навіть після падіння ємності акумулятора більш ніж на 30% його ще можна використовувати в системах стаціонарного зберігання енергії, подібним Tesla Powerwall та Powerpac.

Отже, відпрацьовані акумулятори це дійсно велика проблема, але рішення цієї проблеми знайдено. Я розповім про один з найбільш ефективних методів утилізації на даний момент. Цей метод належить компанії Duesenfeld.

Суть технології. На початку акумуляторну батарею, розбирають і сортують за типом елементів. Далі компоненти акумуляторів не спалюють, як прийнято зараз, а подрібнюють під тиском і за допомогою газоподібного азоту запобігають будь-які подальші реакції в батареї.

По факту залишаються тільки чорні і кольорові метали, порошок з літію, залишки катода з нікелем, марганцем і кобальтом.

Таким чином, більша частина батареї може бути збережена для подальшого використання.

Недоліки.

З негативних моментів можна відзначити те, що виробництво електромобіля є більш енерговитратним ніж автомобіля на ДВЗ. Це все через величезні батареї, що вимагають відповідних виробничих ресурсів. Але, також слід зазначити, що енергоємність акумуляторів постійно зростає, і виробничі потужності, в перерахунку на автомобіль, скорочуються. Знову ж таки, не варто забувати про екологічність виробництва. Наприклад, на даний момент, Мегофабрика Тесла частково живиться від сонячної енергії і коли вона буде повністю розбудована, то 100% енергії буде отримуватися від відновлювальних джерел. Все це вселяє впевненість, що ми рухаємося в напрямку екологічного сталого виробництва та споживання.

Цей аналіз показав, що гібридні і електричні автомобілі мають перевагу в порівнянні з іншими. Звичайно не все так ідеально як хотілося б, але, давайте не забувати, що наука не стоїть на місці. І можливо, що саме ми будемо двигуном наукового прогресу у майбутньому.

Ну а поки що, не забувайте переглядати вкладені мною матеріали. І обов'язково пройдіть невеликий тест після лекції.

Лекція № 4

Тема 4 Електропривод для електромобілів та гібридних автомобілів

1. Електродвигун-генератор

Умовно в електромобілі можна виділити 3 основні складові елементи (системи): джерело енергії, рухова (силова) і допоміжна системи.

У цій лекції ми будемо говорити про один з важливих елементів рухової системи, а саме про тягові електродвигуни. Ми розглянемо їх різновиди та особливості експлуатації. Розглянемо специфіку роботи електродвигуна в гібридних автомобілях. Звичайно ж, торкнемося принципу роботи електродвигуна.

Рухова система – це серце електромобіля, а електродвигун розташований прямо в центрі системи. Електродвигун перетворює електричну енергію, що отримується від батареї, в механічну енергію, яка дозволяє автотранспортному засобу рухатися. Він також працює як генератор під час рекуперативного гальмування, яке відправляє енергію назад в джерело.

Але не все так просто як здається. Якщо хоча б, враховувати той факт, що на відміну від ДВС, у електричного двигуна практично 90-95% енергії, що виділяється йде на створення крутного моменту. Погодьтеся, що подібну потужність необхідно приборкати і вміти з нею поводитися, а для цього потрібно знати деякі нюанси про роботу і різновидах електричних двигунів.

Якщо порівнювати електродвигуни з ДВЗ, то відразу потрібно відзначити ряд їх суттєвих переваг:

1) Електродвигун складається з ____ рухомих деталей, тоді як ДВЗ з _____. Це безпосередньо вказує на високу надійність електродвигуна в порівнянні з ДВЗ.

2) Крутний момент мотора досягає свого максимуму відразу при включенні, таким чином, електромобілі не вимагають наявності характерних для ДВЗ стартерів і коробки передач.

3) Робота електродвигуна на різних оборотах (від 0 до 18000 об/хв) з високим ККД, дозволяє електромобілю обходитися без коробки перемикачів передач. Для реверсу двигуна, тобто включення заднього ходу, досить поміняти полярності (для двигунів постійного струму) або чергування фаз (для двигунів змінного струму).

4) Питомі енергетичні параметри електродвигуна на порядок вищі, ніж у ДВЗ.

Однак необхідно розуміти, що стартувати на електромобілі з усього потенціалу крутного моменту, який потужніший ніж на багатьох автомобілях з ДВЗ небезпечно, і це тягне неефективні витрати заряду батареї.

Електродвигуни можна класифікувати за типом струму:

- двигуни змінного струму;

- двигуни постійного струму;
- комбіновані двигуни.

Двигуни постійного струму використовувалися в перших моделях електромобілів.

Потім двигуни змінного струму почали набирати все більшої популярності в сфері електроавтотранспорту. Це сталося завдяки ряду їх переваг, таких як: кращі показники питомої потужності, більш високий ККД, менші масогабаритні показники, відсутність щітково-колекторного вузла. Особливо цьому сприяла поява надійних тиристорних і транзисторних перетворювачів.

Саме тому в сучасних електромобілях найбільш часто використовують електродвигуни змінного струму. Їх можна розділити на три типи – це асинхронні двигуни (АД), синхронні двигуни і мотор-колеса.

2. Асинхронні двигуни в електромобілі

Почнемо розгляд з АД:

1) Асинхронні двигуни (АД). Це двигуни змінного струму. У них швидкість обертання ротора відрізняється від швидкості обертання магнітного поля статора або синхронної кутової швидкості двигуна. Вона відстає на величину, яку називають ковзанням.

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} - \text{ковзання двигуна};$$

$\omega_0 = \frac{2\pi n_0}{60}$ – синхронна кутова швидкість двигуна (кутова швидкість обертання магнітного поля статора); n_0 – синхронна швидкість обертання двигуна (швидкість обертання магнітного поля статора);

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p};$$

де f_1 – частота мережі;

p - число пар полюсів двигуна.

За кількістю фаз розрізняють одно-, дво- і трифазні агрегати АД.

Давайте розглянемо принцип дії електродвигуна на прикладі асинхронного трьохфазного електродвигуна, тому що саме такі застосовуються в якості тягових електродвигунів в електромобілях.

Як вже говорилося раніше, електродвигун трьохфазного струму живиться трифазним змінним струмом.

Нерухома частина машини називається статором, рухома частина – ротором.

Сердечники статора і ротора асинхронних машин збираються (шихтуються) з окремих листів електротехнічної сталі (рис. 2.2).

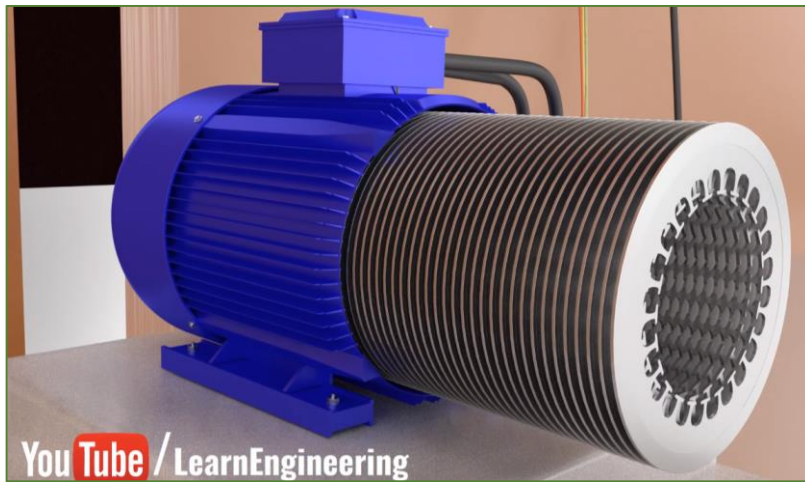


Рис. 2.2

На внутрішній поверхні статора і на зовнішній поверхні ротора є пази, в яких розміщуються провідники обмоток. Обмотка статора виконується трьохфазною, під'єднується до мережі трьохфазного струму і називається первинною обмоткою.

Обмотка ротора може бути виконана трьохфазною, аналогічно обмотці статора. Кінець фази такої обмотки ротора з'єднується зазвичай в «зірку», або ще може бути у трикутник, а початок з допомогою контактних кілець і металлографітної щітки виводиться назовні. Така асинхронна машина називається машиною з фазним ротором. До контактних кілець зазвичай приєднується трьохфазний пусковий або регулювальний реостат. Фазна обмотка ротора виконується з тим же числом полюсів, як і статорна обмотка.

Інший різновид обмотки ротора – обмотка у вигляді білячої клітки (рис.2.3). Кінці стрижнів такої обмотки з обох торців з'єднані накоротко кільцями, тому обмотка виводів не має. Така асинхронна машина називається машиною з короткозамкненим ротором. В машинах потужністю до 100 кВт обмотка ротора виконується шляхом заливання алюмінієм. У більших машинах застосовується мідна зварна обмотка. Відсутність ковзаючого контакту на роторі забезпечує високу надійність роботи такого двигуна, а простота технології виготовлення – дешевизну. З цих причин асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором знаходять широке застосування в різних галузях в тому числі і в транспорті.

Принцип дії асинхронної машини При живленні обмотки статора трьохфазним струмом з частотою f_1 створюється магнітний потік Φ_1 , що обертається з частотою:

$$n_1 = 60 f_1 / p, \quad (2.1)$$

де p – число пар полюсів обмотки статора.

Частота обертання магнітного поля n_1 називається синхронною.

Магнітний потік, що обертається Φ_1 індукуює ЕРС в обмотці ротора. Оскільки обмотка ротора замкнута, то виникає система струмів ротора і створюється потік ротора Φ_2 , що обертається. В результаті взаємодії нерухомих одна відносно іншої потоків статора і ротора утворюється результуючий потік Φ . Взаємодія потоку Φ і струму ротора призводить до виникнення електромагнітних сил і електромагнітного моменту.

У режимі двигуна під дією цього моменту ротор обертається в бік обертання магнітного поля. У режимі генератора (наприклад, при гальмуванні електромобіля) ротор обертається за допомогою привідного двигуна (приводного двигателя) зі швидкістю $n > n_1$, при цьому ЕРС обмотки статора перевищує напругу мережі, і машина віддає енергію в мережу, тобто починає заряджати тягову акумуляторну батарею.

Частота обертання n ротора асинхронної машини завжди відмінна від частоти обертання магнітного поля n_1 , яку називають синхронної. Звідси походить назва машини – асинхронна, тобто несинхронна, в якій $n \neq n_1$.

3. Синхронні двигуни в електромобілі

2) Синхронні двигуни. Такі електродвигуни також працюють на змінному струмі. Але, на відміну від асинхронних, у них рух ротора повністю симетричний відносно електромагнітного поля. Подібні електродвигуни використовують при підвищених потужностях.

Статор синхронної машини (СМ) називається якорем. На статорі розташована трьохфазна обмотка, рівномірно розподілена по пазах (обмотка якоря). Число полюсів обмотки статора дорівнює числу полюсів ротора.

Ротор СМ називається індуктором і має обмотку збудження, що живиться постійним струмом. Підведення струму здійснюється через два контактних кільця і щітки. Машини малої потужності можуть мати збудження від постійних магнітів. За конструкцією ротори бувають явнополюсні і неявнополюсні СМ (рис.3.1)

Перевага СД в порівнянні з АД полягає в можливості точного регулювання електродвигуна для застосування в автомобілі. Також СД мають більш високий коефіцієнт потужності, а отже і більш високий ККД, який більше ніж у АД на 0,5-3%.

4. Мотор-колесо в електромобілі

В даному типі двигуна сила напруги і крутний момент розраховані на конкретне колесо. Мотор-колесо часто використовується в плагін-гібридних автомобілях в робочому тандемі з ДВЗ.

Мотор-колесо являє собою безконтактний електродвигун, у якому обертається не ротор, а статор. Статор є і ободом колеса.

Відмінні риси мотор-колеса:

- безредукторний вентильний електродвигун вбудований в ступицю колеса, *рис. 7.13*;
- постійні магніти на основі рідких металів;
- високий питомий момент;
- застосування композиційних матеріалів і сплавів.



Рис. 7.13

Отже, переваги мотор-колеса полягають у наступному.

По-перше, відсутність редукторного вузла обумовлює високу надійність і, отже, більший строк експлуатації.

По-друге, керована швидкість обертання мотор-колеса, що досягається за допомогою системи керування.

По-третє підвищену плавність ходу за рахунок того, що відсутність редуктора дозволяє обертатися двигуну з дуже високою точністю.

Нарешті, у даного електропривода за рахунок застосування нових матеріалів практично абсолютно безшумна робота.

Конструкція мотор-колеса дозволяє його встановлювати безпосередньо в саме колесо. Але в сучасних електромобілях відходять від такого розташування мотора, оскільки це збільшує питому вагу шасі, збільшує безпружинні (неподрессоренные) маси автомобіля і знижує керованість машиною. Також, погані дороги сприяють руйнуванню, як постійних магнітів на статорі, так і елементів підвіски автомобіля, яка має більшу вагу в порівнянні зі звичайною конструкцією.

Більш раціонально, замість мотор-колеса, використовувати електродвигун в якості повноцінного приводу для обертання колеса. Хоча, в деяких конструкціях електричних транспортних засобів, виправдане використання мотор-коліс. Наприклад, сигвей, моноколесо, електровелосипеди і т.д.

Гібридні автомобілі мають власну специфіку використання електродвигунів. В основному електродвигун гібрида виконує роль

допоміжного елемента. Він підвищує потужність основного двигуна внутрішнього згоряння і знижує рівень споживання палива.

Давайте розглянемо деякі різновиди «функцій» електродвигунів, які використовуються в гібридах:

1) *Вбудована допомога мотору.* Електродвигун бере на себе частину зусиль зі створення крутного моменту при русі.

2) *Вбудований генератор стартера.* В даному випадку, електродвигун, тільки приводить автомобіль в рух.

3) *Старт/стоп двигун.* Система електродвигуна, яка відключає основний ДВЗ при зупинці і миттєво запускає його при початку руху.

На цьому ми завершуємо лекцію по електродвигунам . Сьогодні ми розібрали як класифікують двигуни. Їх особливості експлуатації переваги та недоліки. Розібрали принцип роботи на прикладі асинхронного трьохфазного двигуна. Також ми розглянули специфіку роботи електродвигуна в тандемі з ДВЗ в гібридах.

Як бачите, лекція дуже інформативна і важлива. Для того, щоб краще засвоїти матеріал, я рекомендую переглянути її хоча б ще раз.

Лекція № 5

Тема 5 Високовольтна тягова акумуляторна батарея

1. Високовольтна тягова акумуляторна батарея

Нагадаю, що умовно в електромобілі можна виділити 3 основні складові елементи (системи): джерело енергії, рухова і допоміжна системи.

На попередніх лекціях ми розглянули ...

У цій лекції ми будемо говорити про один з дуже важливих елементів електромобіля, а саме про джерело енергії. А якщо бути більш точним, то про високовольтну тягову акумуляторну батарею (ТАКБ).

Сьогодні ми розглянемо основні параметри тягової АКБ, такі як: щільність енергії, довговічність АКБ, ККД і ємність батареї. І звичайно ж розглянемо різні типи акумуляторів, які використовуються в електромобілях.

Отже, на даний момент, акумулятор є одним з найбільш дорогих елементів електромобіля. Він може становити до половини вартості всього електромобіля. Також, від ємності батареї безпосередньо залежить відстань, яке здатний проїхати електромобіль на одній зарядці. Звичайно, на дальність пробігу від однієї зарядки впливають багато чинників, про які ми поговоримо на наступних заняттях, але ємність акумулятора є визначальною.

Тягова АКБ забезпечує електроживлення для роботи електромобіля. Батарея віддає постійну напругу блоку силової електроніки. Блок силової електроніки перетворює постійну напругу в змінну і живить електродвигун-генератор.

2. Основні параметри для тягової АКБ

Щільність енергії

Цей параметр дозволяє нам зробити висновок про потужності батареї.

Щільність енергії – це кількість енергії, яка може зберігатися в даній масі речовини. Одиницею вимірювання щільності енергії є Ват-година, поділена на кілограм [Вт·год/кг]. Щільність енергії дозволяє визначити запас ходу електромобіля.

Довговічність батареї

Ще одне важливе питання стосується терміну служби акумулятора. Довговічність батареї описується параметром стійкості до багаторазових циклів розрядки-зарядки, від умов використання, включаючи температуру навколишнього середовища. Щоб приблизно розуміти зниження ресурсу батареї, слід розглядати конкретний електромобіль.

В даний час виробники пропонують гарантію на свої батареї. Наприклад, на Nissan Leaf виробник пропонує гарантію на акумулятор і електродвигун на термін до п'яти років або 60 тисяч миль.

Гарантія Renault поширюється на електричний хетчбек Zoe на відстань до 100 тисяч миль або на термін у три роки, в той час як Tesla пропонує восьмирічну гарантію на модель S, яка не залежить від пробігу і може передаватися між власниками.

До речі, термін служби батареї зменшується, якщо автомобіліст постійно використовує технологію швидкої зарядки. Заряджаючи акумулятор за допомогою пристроїв, які відновлюють до 80% заряду за 30-60 хвилин, можна в 1,5-2 рази прискорити процес деградації джерела живлення. Для того щоб батарея прослужила довше, її рекомендується залишати підключеною до зарядного пристрою на кілька годин – наприклад, на ніч. Таким чином можна знизити зарядний струм, отже, і нагрівання елементів тягової батареї.

ККД

Коефіцієнт корисної дії тягової АКБ, що перезаряджається вказується у процентах. Спрощено можна сказати, що ККД показує, яку кількість енергії, витраченої на зарядку, можна буде знову використати при розряді акумуляторної батареї. Внаслідок того, що незначна частина енергії зарядки розсіюється у вигляді теплової енергії (втрати при зарядці), коефіцієнт корисної дії акумуляторної батареї ніколи не може дорівнювати 100%.

Ємність батареї електромобіля

Практично кожний електричний автомобіль використовує свій тип батареї. Акумулятори відрізняються ємністю і забезпечують різний запас ходу. І хоча максимальна відстань, яку може проїхати електромобіль, залежить ще й від його конструкції, ваги, типу електродвигуна тощо, цю цифру можна використовувати для порівняння батарей. На слайді ви можете побачити таблицю порівняння акумуляторів популярних електромобілів.

Табл. 1. Порівняння акумуляторів популярних електромобілів по ємності і запасу ходу

3. Типи акумуляторних батарей

Різні типи акумуляторних батарей, що перезаряджаються різняться матеріалами, використаними для виготовлення електродів і електролітів.

У двох словах скажу з чого ж складається батарея. Акумулятори складаються з трьох основних компонентів: анода, катода і електроліту. І анод, і катод є типами електродів. Електроди (це анод і катод) – це провідники, через які електрика входить або виходить з компонента в ланцюзі. Електроліт – це речовина, часто рідина або гель, здатна переносити іони між хімічними реакціями, які відбуваються на аноді і катоді.

Останнім часом з'явилися також твердотільні акумуляторні батареї. Тобто в даному типі батарей в якості електроліту використовується не рідка, а тверда речовина.

Отже, тип батареї залежить від матеріалів, які використовуються в якості катода, анода і електроліту.

Свинцева акумуляторна батарея

Почнемо зі свинцевої акумуляторної батареї. Вона являє собою класичну 12-вольтну акумуляторну батарею для живлення бортової мережі автомобіля. В якості електродів служать пластини зі свинцю і окису свинцю, в якості електроліту – розчин сірчаної кислоти.

Свинцеві акумуляторні батареї вимагають обслуговування. Це означає, що в них необхідно доливати дистильовану воду, щоб забезпечити необхідний рівень електроліту. Для живлення автомобілів, що рухаються виключно на електричній тязі, свинцево-кислотні батареї не підходять. Причиною тому є їх дуже велика маса. Така батарея зайняла б більшу частину об'єму автомобіля, а це призвело б до зниження корисного навантаження автомобіля.

Свинцевий акумулятор може вже через 6 років втратити більшу частину своєї електричної ємності. А також, в разі пошкодження, з нього може витікати електроліт (кислота).

Нікель-кадмієві акумуляторні батареї

Наступний тип тягових АКБ – це нікель-кадмієві акумуляторні батареї. У цих батареях в якості матеріалу електродів використовується кадмій (Cd) і з'єднання нікелю. В якості електроліту служить гідроксид калію. Тому цей тип батарей називають також лужними акумуляторами. Вони володіють більшою щільністю енергії, ніж свинцеві акумулятори, і більш стійкі до пошкоджень і витікання електроліту.

Але їм притаманні два величезних недоліку, які роблять їх практично непридатними для повноцінного використання в електромобілях.

- 1) Кадмій і сполуки кадмію отруйні.
- 2) Нікель-кадмієві батареї володіють ефектом пам'яті.

Ефект пам'яті, також відомий як ефект «ледачою батареї», – це ефект, який змушує батарею приймати і тримати менше заряду. Тобто, батареї поступово втрачають свою максимальну енергетичну ємність, якщо вони багаторазово перезаряджаються після неповної розрядки. Таким чином акумулятор запам'ятовує меншу ємність батареї ніж вона була спочатку.

Нікель-металогідридні акумуляторні батареї

Далі ми переходимо до нікель-металогідридних АКБ. У цих батареях в якості матеріалу для електродів використовується з'єднання нікелю та з'єднання іншого металу. В якості електроліту також використовується гідроксид калію. У свою чергу вони мають більшу щільність енергії ніж нікель-кадмієві батареї і відносно стійкі до пошкоджень.

Ефект пам'яті, властивий нікель-кадмієвих батареях, проявляється в меншій мірі. Але і у цих акумуляторних батареях протягом терміну служби коефіцієнт корисної дії знижується. Ці втрати ККД до певної міри обернені (усуваються).

Перевагою нікель-металогідридних акумуляторних батарей є те, що, вони не містять таких отруйних важких металів, як свинець або кадмій. Електроліт в батареї міститься в твердому вигляді. Навіть в разі руйнування корпусу можливі тільки окремі бризки.

Літій-іонні акумуляторні батареї

Нарешті ми переходимо до літій-іонним АКБ. Ці батареї найбільш сучасні і поширені в електромобілях.

В якості електродів використовуються різні оксиди металевого літію і графіту, в якості електроліту різні розчинники для солей літію. Літій-іонні

батареї містять тільки незначну кількість води і не мають ефекту пам'яті. У порівнянні з нікель-кадмієвими батареями вони мають майже вдвічі більшу щільність енергії. Це означає, що даний тип батарей вимагає меншого простору для установки в електромобілі, так що залишається більше вільного простору для пасажирів і багажного відсіку.

Але, при сильному нагріванні в батареї може початися процес розпаду. Це може призвести до займання та виділення шкідливих для здоров'я газів. Тому при поводженні з цими акумуляторними батареями необхідно строго виконувати вказівки виробника з техніки безпеки.

До речі кажучи, слово «літій» походить від грецького «lithos», що означає камінь, тому що він був виявлений в 1817 у камені.

Літій-іонний акумулятор – це не якийсь конкретний вид батарей з єдиним затвердженням складом, а ціле сімейство батарей з різними складами електрохімічних елементів. Кожен тип літій-іонної батареї підходить для конкретної сфери застосування. І звичайно ж, далеко не всі вони використовуються в електротранспорті. Давайте розглянемо ті, які застосовуються як тягові АКБ.

Літій-марганцевий акумулятор (LiMn_2O_4)

Літій-марганцевий акумулятор (LiMn_2O_4) завдяки тривимірній структурі може забезпечити високий струм розряду, який до 30 разів перевищує його ємність. Такий тип батарей використовується в електромобілях Nissan Leaf і BMW i3. Але у літій-марганцевих акумуляторів є недоліки: невеликий життєвий ресурс і нетерпимість до холоду. Тому літій-марганцевої батареї комбінують з іншим типом акумуляторів – NMC (літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор LiNiMnCoO_2).

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор (NMC - LiNiMnCoO_2)

NMC мають непогану питому енергоємність і термін служби до 2000 циклів заряду/розряду, але струм віддачі у них невеликий. Саме тому для використання в електромобілях NMC комбінують з LiMn_2O_4 . При звичайній їзді в основному працюють NMC-комірки, а при прискоренні високий струм віддають комірки LiMn_2O_4 .

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні батареї (LiNiCoAlO_2 , або NCA)

NCA батареї мають високу питому ємність і прийнятну вартість. Швидкість зарядки і ток розрядки у NCA-акумуляторів середні. Саме NCA стали джерелом енергії для автомобілів Tesla і систем зберігання Powerwall.

До речі кажучи, саме використання цих батарей кинуло тінь на компанію Тесла. Адже даний акумулятор має термін служби в 500 циклів. Реальний досвід показав, що навіть через 200 тисяч кілометрів батареї в електромобілях Tesla залишаються робочими, втрачаючи третину ємності.

Літій-титанатні акумулятори ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, LTO)

Даний тип батарей знаходиться в розробці компанії Toshiba. Вони виробляють цей тип батарей під назвою SCiB (Super Charge Ion Battery).

У 2017 році Toshiba продемонструвала SCiB-батарею, здатну відновити до 90% своєї ємності всього за 5 хвилин.

Літій-титанатні батареї стабільно віддають струм, що в десять разів перевищує їх ємність, і в тридцять разів при імпульсних навантаженнях. Сучасні зразки таких акумуляторів забезпечують 15000-20000 циклів. Крім того, LTO-батареї пожежобезпечні і стійкі до холоду.

Але, LTO-батареї мають ряд недоліків, які поки обмежують коло їх застосування. В першу чергу, це низька питома ємність 50-80 Вт/кг, тоді як у традиційних літій-кобальтових елементів вона дорівнює 150-200 Вт/кг. Це означає, що для отримання рівної ємності літій-титанатам комірка повинна бути вдвічі-втричі об'ємнішою. По-друге, номінальна напруга комірки дорівнює всього 2,4 В проти 3,6 В у літій-кобальтових. По-третє, поки літій-титанатні батареї відрізняються високою ціною, втричі більшою, ніж у NCA-батареї.

Натомість літій-титанатні АКБ можуть використовуватися в електробусах. Там немає дефіциту місця, а також потрібен високий ресурс батареї.

Літій-залізо-фосфатний акумулятор

І останній тип який ми розглянемо – це літій-залізо-фосфатні АКБ. Це акумуляторні літій-іонні комірки, які використовують LiFePO_4 в якості матеріалу катода.

Основною перевагою LiFePO_4 над Li-ion є підвищений діапазон робочих температур. Додаткові переваги залізо-фосфатного акумулятора включають більш тривалий термін служби та швидшу зарядку.

Основними недоліками літій-залізо-фосфатних АКБ є менша щільність заряду і велика чутливість до зберігання при підвищених температурах.

4. Твердотельные аккумуляторные батареи

Твердотільні батареї мають не рідкий (гель) електроліт, а твердий.

Вони працюють за тим же принципом, що і іонні: при зарядці іони літію переміщаються на катод, звідки при виключенні зарядного пристрою відправляються у вільне плавання через електроліт назад до анода, створюючи електричний струм. Зміна в матеріалах дозволяє домогтися значної зміни властивостей, в тому числі максимального об'єму, часу зарядки, розміру і рівня безпеки.

Основними перевагами твердотільних АКБ є:

1) компактність

В першу чергу, перехід від рідкого до твердого електроліту забезпечує збільшення кількості енергії на той же розмір акумулятора. У «рідкотільних» батареях необхідний відчутний шар рідини і спеціальний сепаратор, який розділяє катод і анод, щоб уникнути короткого замикання. Для твердотільного акумулятора досить куди більш тонкого бар'єру.

Звичайно, сепаратор є не єдиним об'ємним елементом всередині батареї, наприклад катод з анодом так стиснути вийде. Але все ж в твердотільну

батарею «влазить» приблизно вдвічі більше енергії, ніж в літій-іонну такої ж товщини або ще можна сказати такого ж об'єму.

2) Надійність

Твердотільні електроліти куди менше схильні до хімічних реакцій, тому вони працюють довше. Також це означає, що такі батареї не загоряються і не вибухнуть від технічних дефектів або при пошкодженні.

5. Суперконденсатори

Також, окремо слід виділити суперконденсатори – це нове джерело енергії, яке використовується в електромобілях і гібридах. Суперконденсатори значно поступаються іншим тяговим акумуляторам за питомою ємністю, але також і мають незаперечні переваги.

Одним з них є здатність практично миттєво заряджатися за 10-20 секунд (швидкість заряду, фактично, визначається потужністю зарядного пристрою), мають на порядок більше число циклів заряду-розряду і гарантовано можуть експлуатуватися на протязі 10-15 років (залежить від типу суперконденсатора і його технології виробництва).

Але, як вже говорилося, енергії вони запасують значно менше, ніж, наприклад, літій-іонні тягові батареї. Одного заряду вистачить, щоб проїхати від 2 до 20 км (в залежності від ємності блоку суперконденсаторів). Тому суперконденсатори поки не знайшли широкого застосування в тягових установках електротранспорту.

Але такі транспортні засоби мають величезний потенціал використання в якості громадського транспорту. Наприклад, у китайському місті Нінбо провінції Чжецзян існує екологічно чистий маршрут громадського транспорту. По ньому пересувається електробус, який отримує порівняно невеликий запас енергії, за час приблизно рівний 10 секундам, на зупинках під час посадки-висадки пасажирів *рис. 7*.

Цікавим є новий тип електробуса розроблений компанією Zhuzhou Electric Locomotive, яка запропонувала оснащувати громадський транспорт спеціальними гніздами на даху для швидкої підзарядки. На зупинках уздовж маршруту є кронштейни із штекерами, які вставляються в автобусні роз'єми. Одна така підзарядка забезпечує пробіг до 5 км. Вона працює завдяки суперконденсаторам, розрахованим на мільйон циклів перезарядки і 12 років служби і має робочі температури від -40 до +65 °C.

Давайте підсумуємо всю отриману інформацію за типами тягових акумуляторів. Порівняльна таблиця різних накопичувачів енергії представлена на слайді.

На цьому ми завершуємо лекцію по АКБ. Сьогодні ми розібрали основні електричні параметри тягових АКБ. Також, розглянули види батарей, що використовуються в електричному транспорті, та особливості їх експлуатації.

Лекція № 6

Тема 6. Перетворювачі струму для електричного автотранспорту та систем накопичення електроенергії

1. Перетворювачі струму для електричного автотранспорту

Нагадаю, що умовно в електромобілі можна виділити 3 основні складові елементи (системи): джерело енергії, рухова і допоміжна системи.

На попередніх лекціях ми розглянули ...

У цій лекції ми будемо говорити про перетворювачі струму.

Дивіться, акумулятори накопичують енергію у вигляді заряду постійного струму. Але так як, більшість двигунів працює на змінному струмі, енергію необхідно перетворити. Така необхідність виникає і коли енергія подається назад в батарею, тобто при рекуперативному гальмування.

Крім цього, електроенергія, що виробляється ходовим електродвигуном, має високу напругу (зазвичай більше 100 В). Щоб цю енергію зберегти в акумуляторі, напругу необхідно знизити до рівня, що використовується в звичайних акумуляторах (12 або 24 В).

Для цих цілей використовуються різні перетворювачі напруги постійного струму і інвертори. Сьогодні ми і розберемо основні перетворювачі енергії, які використовуються в електромобілях і гібридах.

На рисунку 1 зображена загальна конфігурація EV і HEV. Тут можна побачити, що існують три основних силових електронних блоки: DC-DC перетворювач; DC-AC інвертор і AC-DC випрямляч

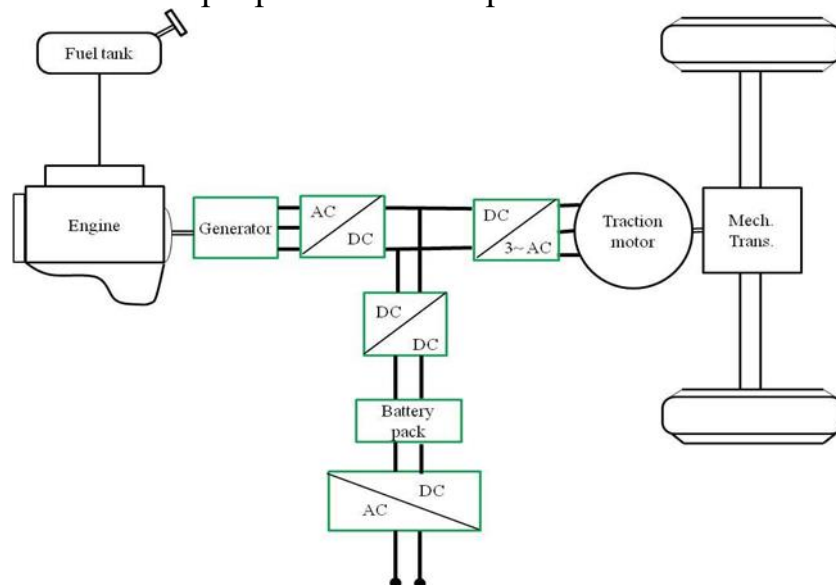


Рис. 1: General Configuration of a Electric Vehicle

2. Інвертор DC-DC для електричного автотранспорту

Давайте почнемо з DC-DC перетворювачів. Основним завданням подібних пристроїв є змінювання напруги (змінного або постійного струму) джерела електроживлення. За топологією існує 3 типи перетворювачів напруги:

1. Бак-конвертер: на малюнку 2а показаний бак-конвертер. Бак конвертер є понижуючим перетворювачем і він видає більш низьку середню вихідну напругу, ніж вхідна напруга постійного струму.

2. Підвищуючий перетворювач: на малюнку 2b показаний підвищує перетворювач. У нього вихідна напруга завжди більша, ніж вхідна.

3. Buck-Boost конвертер: на малюнку 2c показаний Buck-Boost конвертер. Він може використовуватися як в якості підвищуючого перетворювача потоку потужності від батареї до ланцюга постійного струму, так і в якості понижуючого перетворювача, коли потік змінюється на зворотний.

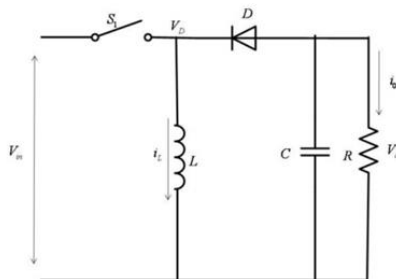


Figure 2c: General Configuration Buck-Boost Converter

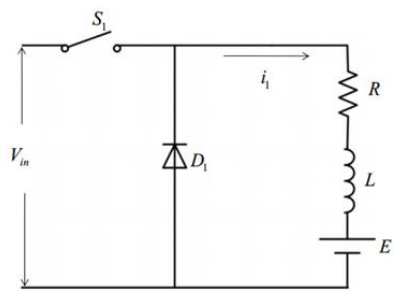


Figure 2a: General Configuration Buck Converter

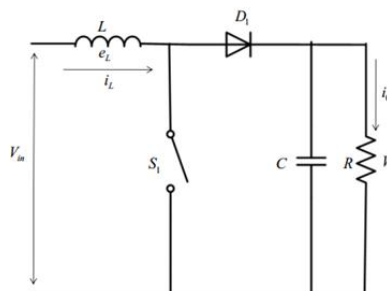


Figure 2b: General Configuration Boost Converter

Найбільш поширені DC-DC перетворювачі, що використовуються в HEV або EV можна класифікувати за напрямком електричних параметрів, що перетворюються:

1. Однонаправлені перетворювачі: вони обслуговують різні бортові навантаження, такі як датчики, органи управління, розважальні, комунальні та захисні пристрої.

2. Двонаправлені перетворювачі: вони використовуються в місцях, де потрібен заряд акумулятора (пряме перетворення) і при рекупераивному гальмування (зворотне перетворення). Потік потужності у двонаправленном перетворювачі зазвичай йде від низької напруги, такої як батарея або суперконденсатор, до стороні високої напруги і називається операцією підвищення напруги. Під час рекупераивного гальмування потужність повертається назад в шину низької напруги, щоб зарядити батареї, тобто протікає робота в режимі зниження напруги.

3. Інвертор DC –AC для електричного автотранспорту

Тепер давайте розглянемо DC -AC інвертори. Отже, основним джерелом електроенергії є акумулятор, який є джерелом постійного струму. Вихідні електричні параметри постійного струму батареї підвищуються або знижуються відповідно до вимоги, за допомогою інвертора DC-DC. Але струм все ще залишається постійним, в той час як тяговий електродвигун вимагає від джерела змінний струм. Тому, виникає необхідність в використанні ще одного перетворювача енергії, який називається DC -AC інвертор.

Функція інвертора – змінити вхідну напругу постійного струму на асиметричну вихідну напругу змінного струму бажаної величини і частоти. Форма хвилі вихідної напруги ідеальних інверторів повинна бути синусоїдальною. Однак форми сигналів практичних інверторів не синусоїдальні і містять певні гармоніки.

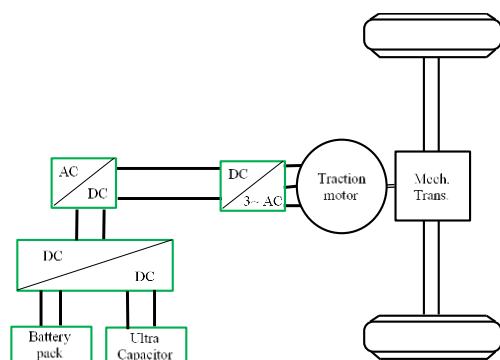
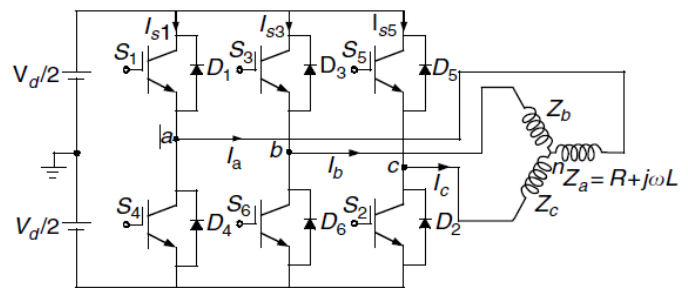


Figure 1: Configuration of electric vehicle [1]



(a)

DC/AC inverter topology

4. Випрямляч AC- DC

Випрямляч – це пристрій, схожий на інвертор DC -AC, за винятком того, що він виконує зворотне перетворення потужності змінного струму в потужність постійного струму.

Підсумок

Основним завданням DC-DC конвертера є перетворення напруги. Тобто це електричний пристрій, який фактично змінює напругу джерела електроживлення. Він його або підвищує, або знижує.

Інвертор DC -AC – це електричний пристрій, що перетворює електроенергію, одержувану від джерела постійного струму, в змінний того типу, який можна використовувати для управління пристроєм або електричними побутовими приладами.

Випрямляч може конвертувати змінну напругу генератора в постійну напругу для заряду акумулятора. Перетворювачі постійного струму в змінний і перетворювачі постійного струму часто об'єднуються з іншими електронними компонентами системи в модулі силової електроніки.

Це базова інформація по даній темі. Більш детально розглядати перетворювачі струму і принцип їх роботи ми можливо і будемо, але не в рамках даного курсу.

Лекція № 7

Тема 8. Зарядні станції для електромобілів та гібридних автомобілів

1. Системи зарядки

Головною перевагою електрокарів є можливість заряджати їх будь-де, де є звичайна побутова електромережа. Більшість таких авто пристосовані для зарядки двома способами: змінним або постійним струмом. Останній призначений для під'єднання до станцій швидкої зарядки на кшталт CHAdeMO, яких в Україні справді поки що немає (рисунок .1) [11].

Роз'єм CHAdeMO створений компаніями The Tokyo Electric Power Company (TEPCO), Nissan, Mitsubishi, Fuji Heavy Industries (Subaru) і Toyota.

Також використовується автовиробниками: Citroën, Kia, Mitsubishi, Nissan, Peugeot і Toyota [12]. CHAdeMO може заряджати за потужністю до 62,5 кВт, заповнюючи батарею електромобіля Nissan Leaf до 80 % приблизно за 30 хв.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд роз'єму CHAdeMO

Наповнення тягової батареї змінним струмом вимагає наявності зарядного пристрою, вбудованого в кожний електрокар. Більшість електричних авто заряджаються пристроєм потужністю 3,3 кВт. Це не так і багато. Приміром, потужність хорошого електрочайника може становити 2,2...2,4 кВт.

Найпростіший і найбільш поширений спосіб зарядки електричного авто – в гаражі від звичайної розетки, рисунок 2.

Стандартна розетка побутової електромережі видає 220...230 В, 16 А. Відповідно, вона дозволяє безпечно під'єднувати прилади потужністю до 3,5 кВт. Електрокар впритул вписується в цей ліміт.

Слід зазначити, що старі радянські стандарти 1960-х обмежували потужність побутової мережі окремого помешкання на рівні 5 кВт. В сучасних квартирах та приватних будинках ця планка піднята до 15 кВт. Отже, електрокар можна заряджати навіть на дачі з доісторичною електромережею.



Рисунок .2 – Зарядка електромобіля в гаражі від звичайно розетки

Кожен електрокар має (комплектуються або надається, як додаткова опція) зарядний шнур, за допомогою якого можна підключати його до звичайної побутової електромережі, напругою 220 В, рисунок 3. Окрім власне зарядки, він слідує за процесом «заливки» батареї та має відповідний захист у випадку критичних ситуацій (тобто вбудовані запобіжники).



Рисунок .3 – Фірмовий зарядний шнур для електрокарів Renault

2. Класифікація видів роз'ємів для електромобілів

Загалом розрізняють чотири режими зарядки електромобіля (в англійській термінології Mode). Американська класифікація способів зарядки простіша і містить лише три рівні (Levels): звичайна домашня розетка, спеціальна домашня розетка з потужним струмом і швидкозарядна публічна станція.

Mode 1 – найбільш базовий. Це зарядка змінним струмом від побутової мережі, коли в звичайну розетку вмикається кабель без додаткових захисних пристроїв. Він не гарантує безпеки у разі перегріву кабеля/розетки чи короткого замикання, тому не використовується в сучасних електромобілях. Час зарядки стандартного електрокара з батареєю у 20...25 кВт·год становить 6...8 год.

Mode 2 – те ж саме, що і перший варіант, але із застосуванням фірмового кабелю із захистом. Він слідує за тим, щоби не було короткого замикання чи

перегріву кабеля, за допомогою примітивних світлових індикаторів інформує про процес заряду. На відміну від зарядних пристроїв, скажімо, ноутбуків, здатних працювати в діапазоні напруги 100...240 В, автомобільні зарядки розраховані або на Європу (220/230 В), або на США (120 В).

Mode 3 – зарядка змінним струмом підвищеної потужності із використанням окремої розетки, яка по суті є спеціальною зарядною станцією. Вона має необхідний захист, слідує за процесом заряду, а під'єднання авто здійснюється через вбудований в неї кабель з відповідним конкретному електрокару роз'ємом. Розетка типу Mode 3 може бути встановлена будь-де – дома, в офісі, на вулиці. Залежно від типу використаного кабеля (однофазного або трифазного), зарядка може видавати від 7,2 до 43 кВт. Відповідно, час «заправки» стандартного сучасного електрокара становитиме від 4 год до кількадесят хв.

Mode 4 – найшвидший на даний момент спосіб зарядки електрокара. На відміну від попередніх варіантів, тут використовується постійний струм. Популярний японський стандарт зарядної станції CHAdeMO видає до 62,5 кВт енергії, що дозволяє зарядити акумулятор стандартного електрокара за 20...30 хв. Тесла оснащує свої авто великими за ємністю батареями (70, 85, 90, 100 кВт·год) і використовує свій спосіб швидкої зарядки. Фірмові станції Tesla Supercharger видають 135 кВт електроенергії.

Зарядка способом Mode 4 має свою особливість: по факту акумулятор швидко наповнюється лише на 80 %, решта 20 % ємності заливаються дуже повільно. Це зроблено для того, щоб не пошкодити тягову батарею.

Швидкозарядних станцій для електрокарів в Україні, на жаль, поки немає. Вони досить дорогі (від \$15...20 тис.) і вимагають серйозної підготовки електромережі.

Тепер проаналізуємо зарядні станції за рівнями потужності (американська класифікація), в США їх називають Level 1, 2, 3 [13].

Рівень 1 (Level 1) – це найповільніша зарядка змінним струмом до 16 А. Для США 16 А обтяжені 120 В і максимум на що можна розраховувати – це 1,92 кВт пікової потужності. Для середнього електромобіля це означає, що доведеться чекати близько 12 год. до повної зарядки. З такою швидкістю будь-який автомобіль можна заряджати без спеціальної інфраструктури, просто встроївши адаптер в розетку.

У середині типового зарядного пристрою знаходяться засоби захисту і регулювання струму, які замикають ланцюг, тільки коли роз'єм застромлять в гніздо зарядки автомобіля. Найчастіше в комплектації є таке зарядний пристрій, максимум на 3.3 кВт (рисунок 4). У домашньому виконанні така зарядка навряд чи буде коштувати більше \$ 500, а в вуличному їх вже не ставлять, але є деяка кількість старих зарядок 1-го рівня.



Рисунок 4 – Порти Nissan Leaf. Зліва CHAdeMO (Level 3) до 50 кВт.
Праворуч – стандартний для США SAE J1772 (Level 1/2).

Рівень 2 (Level 2) – до 7 кВт пікової потужності (240 В, 30 А). У домашньому виконанні ціна зарядок починається з \$ 500, у вуличному з \$ 1000.

Зарядки першого і другого рівня використовують змінний струм. В автомобілі, відповідно, розташовується зарядний пристрій, який випрямляє струм і заряджає акумулятори, рисунки 4, 5.



Рисунок 5 – Зарядна станція другого рівня (Нідерланди)

Зарядка третього рівня, найпотужніша, швидка зарядка. 300...600 В, 100 А і більше. На ділі ж зазвичай мова йде про 50 кВт. Вони здатні зарядити автомобільну батарею від 0 до 80 % за 30 хв. Подальша зарядка на них або взагалі неможлива, або йде зі значно меншою потужністю, як у зарядки 1-2 рівня, щоб не пошкодити акумулятор.

Отже, порівнюючи європейські і американські зарядні станції можна зробити висновок, що в Європі схожа ситуація, стандарт ІЕС 62196 визначає наступні потужності зарядок (рисунок 6):

Mode 1 – 240 В 16 А, той же Level 1, тільки в Європі 220 В, так що потужність в два рази вище;

Mode 2 – 240 В 32 А (= Level 2);

Mode 3 – 690 В, 3-фазний змінний струм, 63 А, тобто 43 кВт (частіше встановлюються зарядки з половиною від цього, 22 кВт), такого в США вже немає, це швидка зарядка змінним струмом;

Mode 4 – швидка зарядка постійним струмом, допускає 600 В і до 400 А, тобто 240 кВт максимум.



Рисунок 6 – Штекери SAE Combo2 зарядки (зліва, зарядка в режимі Mode 4) і Mennekes (праворуч, Mode 1,2,3), основні стандарти для Європи

Виходить, в Європі приблизно такі ж стандарти потужності зарядок, що і в США, тільки з'являється Mode 3 – швидка зарядка змінним струмом. Перші два типи – повільні зарядки, швидкість зарядки на них вимірюється годинами, потужні ж можуть зарядити акумулятор типового електромобіля за півгодини.

Таким чином, ключове поділ зарядок: звичайні і швидкі зарядки. Звичайні – Level 1, Level 2 для США, Mode 1, Mode 2 для Європи. Швидкі – Level 3 в США, Mode 3, Mode 4 в Європі. Коли говорять в статистиці про тисячі встановлених зарядок, майже завжди мова йде про звичайні зарядок. І, звичайно, їх встановлюють помітно менше, ніж продають автомобілів, хоча і не на порядок.

Для plug-in гібридів швидкі зарядки не потрібні, не той обсяг батареї, щоб вона могла переварити таку потужність при поточних технологіях. На даний момент з усіх plug-in гібридів тільки Mitsubishi Outlander PHEV підтримує швидку зарядку.

3 Стандарти до зарядних станцій

Далі варто пробігтися по стандартам. Для швидкої зарядки найбільша кількість станцій встановлено під стандарт CHAdeMO. Цей стандарт використовується на автомобілях Nissan, Mitsubishi (так само в альянс входять Toyota, Subaru). Незважаючи на те, що сам роз'єм виглядає дуже потужним, розрахований він на використання струму з напругою 500 В до 125 А, тобто на 62,5 кВт (рисунок 1). Організація CHAdeMO повідомляє, що в межах тієї ж специфікації, використовуючи те ж обладнання, струм може бути збільшений до

200 А, а загальна потужність до 100 кВт. Насправді зараз немає автомобілів, крім Tesla, для яких могла б знадобитися потужність вище 50 кВт, так як більшу частину сучасних акумуляторів не рекомендується заряджати струмом великим 2С.

У Tesla пропрієтарний стандарт. У американських автомобілів використовується свій, несумісний ні з чим роз'єм, так що використання публічних зарядок, відмінних від суперзарядок компанії, можливо тільки з використанням адаптера. Правда кілька адаптерів йде в комплекті з машиною. У європейських машин використовується стандартний в Європі роз'єм Mennekes, який сумісний з Mode 1, 2, 3 зарядками (рисунок 6). Власні суперзарядки Tesla розраховані на потужність до 150 кВт, але поки налаштовані на потужність в 135 кВт.

У США стандарт для більшої частини автомобілів – SAE (J1772), він використовується для Level 1, 2 зарядки (рисунок 4). І зараз починає розвиватися стандарт SAE Combo для Level 3 зарядки, який використовує частину конекторів SAE для встановлення домовленості, але постійний струм передає по окремим конекторам. В 2014 р. можливість швидкої зарядки за стандартом SAE Combo отримали перші автомобілі – Chevrolet Spark EV і BMW і3 в США. Станцій швидкої зарядки для цього стандарту поки практично немає, але у CHAdeMO підтримка тільки Nissan і Mitsubishi, всі інші виробники (Volkswagen, BMW, GM, Ford і т.д.) будуть вкладатися в штатах в розвиток швидких зарядок SAE Combo. Швидка зарядка за стандартом допускає постійний струм з напругою 500 В і силою струму до 200 А, тобто потужністю 100 кВт.

В Європі основний стандарт Type 2 більш відомий за типом використовуваного роз'єму, розробленого однойменної німецькою компанією – Mennekes. З його використанням допустима зарядка в Mode 1, 2, 3. Тобто до 43 кВт змінним струмом. У Франції та Італії електричні компанії запропонували Type 3 роз'єм, конструкція якого включає захист контактів, і внаслідок цього здешевлює вартість станції, в той же час її потужність обмежена Mode 2 зарядкою і, судячи по товщині конекторів, безальтернативно. Але Європейська Комісія вирішила, що в Європі повинен використовуватися тільки Type 2 роз'єм.

Основні стандарти зарядки без пропрієтарного Tesla і японського CHAdeMO представлені на рисунку 7.

	Тип 1 / USA	Тип 2 / Europa	GB / China
AC	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB Part 2
DC	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB Part 3 / IEC 62196-3
COMBO	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Рисунок 7 – Основні стандарти зарядки

А в Китаї використовується роз'єм GB / T 20234, який часто називають просто GBT. Він хоч і підозріло схожий на європейський Mennekes, але з ним не сумісний.

Для зарядки постійним струмом в Європі запропонований роз'єм Combo2 аналогічний американському SAE Combo, тільки зроблений не навколо J1772, а сумісний з Mennekes. Зарядок за цим стандартом ще майже не встановлено, а сам стандарт тільки недавно затверджений. Але все свіжі автомобілі обладнані відповідним роз'ємом.

Так що і в США і в Європі ситуація зі стандартами швидких зарядок дуже схожа. Японські виробники підтримують CHAdeMO, яке в усьому світі однакова, у Tesla свій стандарт, але різний в США і Європі, всі інші виробники просувають в США SAE Combo, а в Європі SAE Combo2, рисунок 8.

IEC DC Charging Systems				
	System A CHAdeMO (Japan)	System B GB/T (PRC)	System C	
			COMBO1 (US)	COMBO2 (DE)
Connector				
Vehicle Inlet				
Communication Protocol	CAN		PLC	

Рисунок 8 – Стандарти швидкої зарядки постійним струмом в різних країнах

Література

1. Ахмедов Р.Б. и др. Гелиоэнергетика. Солнечные электрические станции. / Р.Б. Ахмедов и др. – М.: ВИНТИ, 1986. – 120 с.
2. Батлук В.А. Основы экологии и охраны окружающей среды. Учебное пособие / В.А. Батлук. – Львів: Афіша, 2001. – 333 с.
3. Бедрій Я.І. Основы екології та охорона навколишнього середовища: Навчальний посібник / Я.І.Бедрій.– К.: ЦУЛ, 2002. – 248 с.
4. Володин В.В. Энергия, век двадцать первый. Научно-художественная литература / В.В. Володин, П.М. Хазановский – М.: Дет. лит., 1989. – 142 с.
5. Солнечная электростанция // Матеріали сайту – 2014. – Режим доступу: <http://yznavai.ru/solnechnaya-e-lektrostantsiya/>.
6. Преобразование солнечной радиации в электрический ток // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://reforef.ru/outozub/Солнечная+энергетика+-+Проблемы+и+перспективыb/main.html>.
7. Види сонячних електростанцій // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES.
8. Типы солнечных электростанций // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: http://www.gigavat.com/ses_tipi.php.
9. Солнечные космические электростанции // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://www.studfiles.ru/preview/5354081/page:10/>.
10. Виды и типы: схемы солнечных электростанций электростанции // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: <https://best-energy.com.ua/support/alternative-energy/solar-type#solar-dc1>.
11. Як заряджати електромобіль? // Матеріали сайту – 2015. – Режим доступу: <https://electrocars.ua/how-to-charge/>.
12. Типы зарядки электромобилей// Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://ecoelectro.club/zaryadnye-stancii-dlya-elektromobilej/>.
13. Электромобили: инфраструктура, типы зарядок// Матеріали сайту – 2014. – Режим доступу: <http://автолента.рф/10-04-2014-elektromobili-infrastruktura-tipy-zaryadok>.

Лекція № 8

Тема 8. Система управління акумуляторною батареєю електромобіля

1. Система управління BMS

Акумуляторні батареї електромобілів складаються із безлічі послідовно з'єднаних акумуляторів, при масовому виробництві яких неможливо досягти ідентичності їх характеристик. Ємність, внутрішній опір, швидкість саморозряду і деградації однотипних акумуляторів завжди відрізняються.

Найбільш характерно цей вплив проявляється при розбитті батареї на кілька модулів послідовно з'єднаних акумуляторів і розміщенні їх в різних відсіках електромобіля (в підкапотному просторі, в багажному відділенні, в салоні, під днищем тощо).

При тривалій експлуатації АКБ виникає проблема її розбалансування.

Негативний вплив розбалансування АКБ.

При русі електромобіля напруга на одній з комірок акумулятора опустилася до заданого нижнього рівня, нижче якого може статися необоротна деградація АКБ, тобто дана комірка або модуль розрядилися. У такому випадку система безпеки електромобіля розімкне коло розряду батареї і електромобіль не зможе продовжити рух. Але ж окремі комірки все ще залишилися не повністю розрядженими. А це свідчить про неефективне використання акумулятора. В майбутньому, при експлуатації такої АКБ, ми не будемо отримувати повну ємності, тобто наш електромобіль зможе проїжджати меншу відстань. Мало того, через нерівномірний розподіл заряду, АКБ швидко прийде в непридатний стан.

Уникнути негативних руйнівних процесів в акумуляторній батареї дозволяє BMS. Система управління стежить за тим, щоб всі комірки в кінці зарядки отримували однакову напругу. При підході зарядного процесу до кінця, BMS робить балансування шунтуванням комірок, що зарядилися. Також вона може переносити енергію елементів з більшою напругою до елементів з меншою напругою.





Рис. 8.1 - Система управління батареєю (BMS) електромобіля Nissan Leaf

* **Шунт** - пристрій, який дозволяє електричному струму (або магнітному потоку) протікати в обхід будь-якої ділянки схеми, зазвичай являє собою низькоомним резистор, котушку або провідник.

При пасивному балансуванні осередки, які повністю відновили заряд, отримують менший струм або виключаються з зарядного процесу до моменту, поки всі елементи акумулятора не матимуть рівний рівень напруги. Система управління батареєю (BMS), виконуючи балансування, а також забезпечуючи контроль температури і виконання ряду інших функцій, які далі будуть розглянуті, максимально подовжує термін служби акумулятора.

Основні цілі застосування BMS:

- 1) захист акумуляторних комірок і цілої батареї від пошкоджень;
- 2) збільшення терміну служби батареї;
- 3) підтримання акумулятора в стані, при якому стане максимально можливим виконання всіх покладених на нього завдань.

2. Основні функції BMS

Для досягнення цих цілей BMS повинна виконувати такі функції:

1. Першою функцією BMS є контроль за станом елементів акумуляторної батареї, а саме за:

1.1. Напругою: загальна напруга, напруга окремих комірок, мінімальна і максимальна напруга комірки;

1.2. Температурою: середня температура, температура електроліту, температура на виході, температура окремих акумуляторних "клітин", плати BMS. Електронна плата BMS, оснащується як внутрішніми температурними датчиками, так і зовнішніми, які використовуються для контролю температури конкретних елементів батареї .;

1.3. Заряду і глибини розряду;

1.4. Струмів заряду / розряду;

1.5. Справності.

Система управління може зберігати в пам'яті такі показники, як кількість циклів заряду / розряду, максимальне і мінімальне напруження 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. Друга функція називається інтелектуально-обчислювальною. Її обов'язками є проводити оцінку:

- 2.1. максимального допустимого струму заряду;
- 2.2. максимального допустимого струму розряду;
- 2.3. кількості енергії, що поставляється внаслідок зарядки, або ж втрачається при розряді;
- 2.4. внутрішнього опору комірок;
- 2.5. загальної кількості циклів роботи.

3. Третя функція – зв'язкова. Тобто BMS ділиться перерахованими в попередньому пункті даними. BMS може передавати дані як шляхом провідний, так і бездротової комунікації.

4. Четверта функція – захисна. BMS захищає акумуляторну батарею від:

- 4.1. перевантаження по струму;
- 4.2. перенапруги (під час зарядки);
- 4.3. падіння напруги нижче допустимого рівня (під час розряду);
- 4.4. перегріву;
- 4.5. переохолодження;
- 4.6. витоку струму.

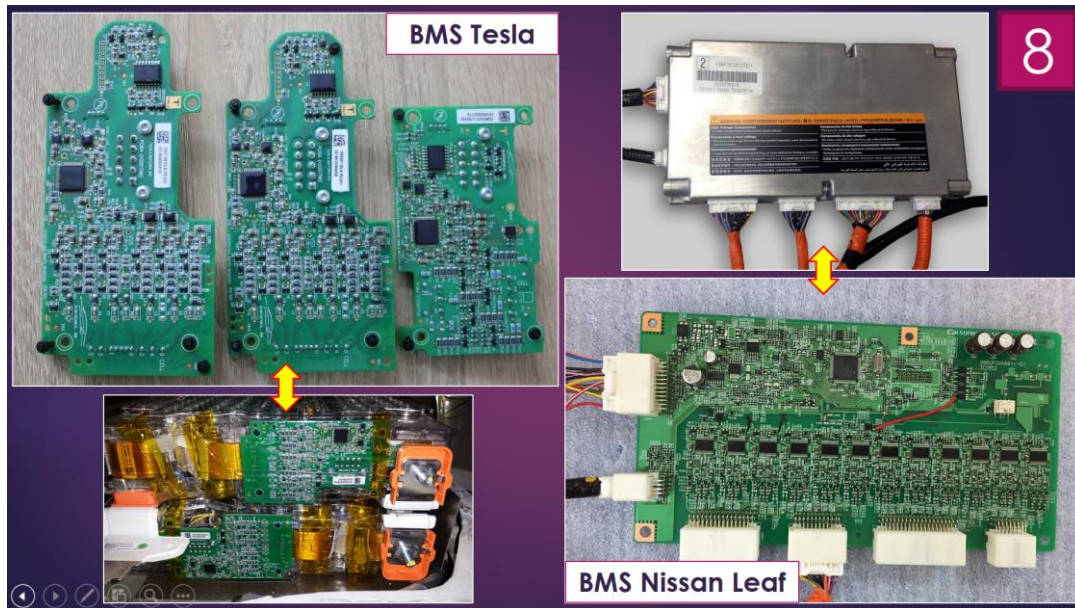
Система інтелектуального моніторингу (BMS) відключає акумуляторну батарею від навантаження або зарядного пристрою при виході хоча б одного з робочих параметрів за межі допустимого діапазону.

5. Останньою п'ятою функцією BMS є балансування. Це те про що ми вже говорили. **Балансування** – це метод рівномірного розподілу заряду між усіма осередками акумуляторної батареї, завдяки чому максимально продовжується термін служби акумулятора.

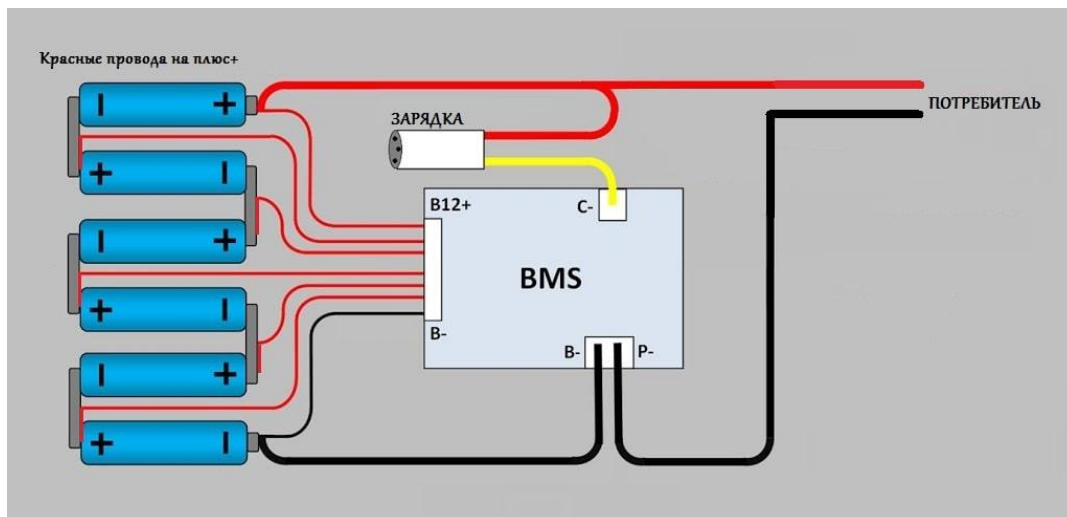
З метою захисту плати BMS від негативного впливу вологи і пилу її покривають спеціальним епоксидним герметиком. Не завжди акумулятор має тільки одну систему управління і балансування. Іноді замість однієї плати BMS, використовується відразу кілька пов'язаних між собою регулювальних електронних плат, кожна з яких управляє певною кількістю комірок і подає вихідні дані до єдиного контролера

Дана система життєво необхідна для електромобіля. Так як функціональність BMS дозволяє не тільки поліпшити режим експлуатації акумуляторних батарей, а й максимально збільшити термін їх служби.

Архітектура системи управління батареями у кожного виробника своя. BMS можуть бути спроектовані з використанням безлічі функціональних блоків і методів проектування. Загальна система управління батареями проілюстрована на рис. 8.2.



а



б

Рис.8.2 - BMS: а – електричні плати сучасних електромобілів; б – спрощена схема роботи BMS

Підсумок.

Система управління батареї (BMS) – це електронна система, яка:

- управляє заряд / розрядним процесом акумуляторної батареї
 - відповідає за безпеку роботи АКБ
 - проводить моніторинг стану батареї
 - проводить оцінку вторинних даних працездатності
 - проводить індивідуальний контроль напруги і опору кожного елемента акумулятора
 - розподіляє струми між складовими акумуляторної батареї під час зарядного процесу
 - гарантує безпечне підключення / відключення навантаження.
- При рекуперації енергії BMS також регулює процес підзарядки батареї.

Система управління батареєю дуже важлива частина електромобіля, і вона виконує значно більше функцій, ніж просто управління роботою батареї. BMS – це мозок батареї.

3 Робота зарядного блоку електромобіля

Деякі виробники випускають спеціальні зарядки для побутової мережі на 16 А, 220 В, але при їх використанні процес заряду акумуляторної батареї буде довгим, тому такі пристрої використовуються лише як додаткові, рис. 8.3.



Рисунок 8.3 – Стандартний зарядний пристрій в електромобілі

Для більш швидкої зарядки необхідно встановити трифазну розетку на 380 В до якої підключається кабель з зарядним пристроєм. При цьому тягова АКБ може заряджати в три рази швидше, ніж при використанні однофазної на 220 В.

Деякі електромобілі заряджаються тільки при наявності заземлення. Наприклад, «розумний» кабель Mobile Connector для Tesla Model S при підключенні тестує мережу на наявність заземлення. Поки пристрій не визначить наявність заземлення, зарядження не почнеться.

Існують спеціальні зарядки, які не потребують заземлення, але їх використовувати не рекомендується через підвищеного навантаження на мережу.

Так як у побутовій мережі напруга 220 В і струм до 16 А, максимальна потужність, яку можна отримати з мережі становить:

$$220 \cdot 16 = 3520 \text{ Вт} = 3,52 \text{ кВт.}$$

На практиці це середнє значення складає від 2,5 кВт до 3 кВт. Це пов'язано з тим, що з часом погіршуються контакти, а також зношується проводка (процес старіння).

Мінімальний час зарядки акумуляторної батареї $t_{\text{зар.}}$ залежить від її ємності (енергії, що запасється) та потужності зарядного пристрою (можливостей мережі):

$$t_{\text{зар.}} = W_{\text{АКБ}} / P_{\text{з.п.}}$$

У табл. 8.1 представлено час повного заряду різних моделей електромобілів Nissan Leaf з акумуляторними батареями різної ємності від найпоширеніших зарядних пристроїв. А саме в залежності від рівнів заряду:

- Level 1 (ACS-15, PCS-15). Характеристики: $I = 15 \text{ A}$, $U = 110 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 1,4 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-20). Характеристики: $I = 16 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 3,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-25). Характеристики: $I = 20 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 4,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-30). Характеристики: $I = 24 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 5,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-40). Характеристики: $I = 32 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 7,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-50). Характеристики: $I = 40 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 9,6 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-60). Характеристики: $I = 48 \text{ A}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 11,5 \text{ кВт}$;

Таблиця 8.1 – Час заряду електромобілів Nissan Leaf

№	Потужність зарядного блоку електромобіля	Ємність АКБ, кВт·год	Час заряду акумуляторної батареї різними зарядними пристроями, год.							
			Level 1 ACS-15, 1,4 кВт	Level 2 LCS-20 3,8кВт	Level 2 LCS-25 4,8кВт	Level 2 LCS-30 5,8кВт	Level 2 LCS-30 5,8кВт	Level 2 HCS-40 7,7кВт	Level 2 HCS-50 9,6кВт	Level 2 HCS-60 11,5кВт
1	3,3	24	17	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
2	6,6	24	17	6,5	5	4	3,5	3,5	3,5	6,5
3	6,6	30	21,5	8	6,5	5	4,5	4,5	4,5	8
4	3,3	30	21,5	9	9	9	9	9	9	9

За фактом, цей час буде більшим, так як процес нелінійний по потужності і часу. Після 80 % зарядки він проходить повільніше і при перетворенні втрачається близько 10 % електрики.

При зарядці від мережі, напругою 380 В (трифазна) струмом 16 А процес заряду протікатиме набагато швидше. Без урахування втрат, максимальна пропускна потужність трифазної мережі досягне:

$$P_{\text{з-ф}} = 380 \cdot 16 \cdot 1,72 (\cos \phi) = 10\,458 \text{ Вт} = 10,46 \text{ кВт.}$$

Відповідно, повна зарядка Nissan Leaf з акумуляторами 24 кВт·год і 30 кВт·год від трифазної мережі буде порядку:

$$24 / 10,46 = 2,29 \text{ год.}$$

$$30 / 10,46 = 2,9 \text{ год.}$$

У лінійному підключенні втрати електрики при перетворенні досягають 10 % (в деяких 2-3%).

В Україні діють обмеження по максимально допустимому навантаженні на споживача. Як правило, для приватного будинку це 5 - 10 кВт, в залежності від можливостей магістральних кіл.

4. Вартість зарядки електромобіля

В середньому, щоденний пробіг автомобіля в місті становить до 100 км. Для простоти розрахунку візьмемо цей показник і порівняємо якою буде витрата в Nissan Leaf 2016 року випуску і аналогічного йому за класом Nissan Juke базовій комплектації 2017 року з ДВЗ.

Для подолання дистанції 100 км на Nissan Leaf необхідно мати повністю заряджений акумулятор (24 кВт·год). При повній щоденній зарядці, за місяць витрачено електричної енергії:

$$24 \cdot 30 = 720 \text{ кВт·год.}$$

Тарифи для населення на електроенергію в Україні станом на третій квартал 2020 р. становить 1,68 грн/кВт·год. при споживанні більше 100 кВт·год. Відштовхуючись від цього отримаємо місячні витрати на зарядку електромобіля при 100 км/день:

$$1,68 \cdot 720 = 1210 \text{ грн.}$$

Для порівняння, витрати палива в Nissan Juke при міському циклі складають 7,6 л/100 км. За місяць витрати палива складуть:

$$7,6 \cdot 30 = 228 \text{ л.}$$

При середній ціні бензину А-95 в Україні 26,35 грн/л, за місяць буде витрачено на заправку автомобіля при щоденному проїзді 100 км:

$$228 \cdot 26,35 = 6008 \text{ грн.}$$

Тобто витрати на електричну енергію для заправки електромобіля Nissan Leaf в 4,95 менші, ніж витрати на бензин для заправки автомобіля Nissan Juke навіть при одно тарифному обліку електроенергії. Це підтверджує, що використання електромобілів більш економічне, ніж автомобілів з ДВЗ. При цьому не враховуються експлуатаційні витрати (заміна фільтрів, масла), які є неминучими при експлуатації будь-яких авто з ДВЗ, а в електромобілях відсутні.

Використання багатотарифного обліку електричної енергії дозволяє заощадити ще більше у порівнянні з одностарифним. Цей облік характеризується тим, що протягом восьми годин (з 23:00 до 07:00) вартість електроенергії менша ніж при одностарифному і складає 0,84 грн/кВт·год. Цього часу цілком достатньо для повного відновлення ємності акумулятора Nissan Leaf. Відповідно, щомісячні витрати на заряд електромобіля при міському циклі їзди складе:

$$0,84 \cdot 720 = 605 \text{ грн.}$$

Це в 2 рази менше, ніж вартість заряду електромобіля Nissan Leaf при однотарифному обліку електричної енергії і в 9,93 рази менше, ніж потрібно на заправку бензинового аналога Nissan Juke.

Варто відзначити, що у більшості зарядних станцій є функція «заряджати тільки при дії нічного тарифу». Тобто власник автомобіля підключає кабель, а процес заряду запуститься автоматично о 23:00 і вимкнеться рівно о 07:00.

Для повного відновлення ємності акумуляторної батареї необхідно 24 кВт·год електроенергії. З трифазної станцією досить буде 4 години, з однофазної вже 8 годин. За «нічним тарифом» один цикл обійдеться всього лише:

$$24 \cdot 0,84 = 20,16 \text{ грн.}$$

Без багатотарифного лічильника:

$$24 \cdot 1,68 = 40,32 \text{ грн.}$$

Тобто, щоденна економія дорівнює 50%. Щомісяця можна економити:

$$20,16 \cdot 31 = 625 \text{ грн.}$$

На рік економія складає:

$$625 \cdot 12 = 7500 \text{ грн.}$$

У Nissan Leaf 2016/2017 року випуску була збільшена ємність батареї з 24 кВт·год до 30 кВт·год. В середньому однофазна станція дозволить відновлювати 3 кВт·год ємності на годину. Це означає, що через 10 годин автомобіль буде повністю заряджений. Нічний тариф діє тільки 8 годин, значить 2 години батарея буде заряджатися по 1,68 грн/кВт·год, при умові повної розрядки батареї. В результаті повний цикл Вам обійдеться в:

$$(3 \cdot 8 \cdot 0,84) + (3 \cdot 2 \cdot 1,68) = 30,24 \text{ грн.}$$

Без багатотарифного лічильника:

$$30 \cdot 1,68 = 50,4 \text{ грн.}$$

У підсумку додаткова щоденна економія складе:

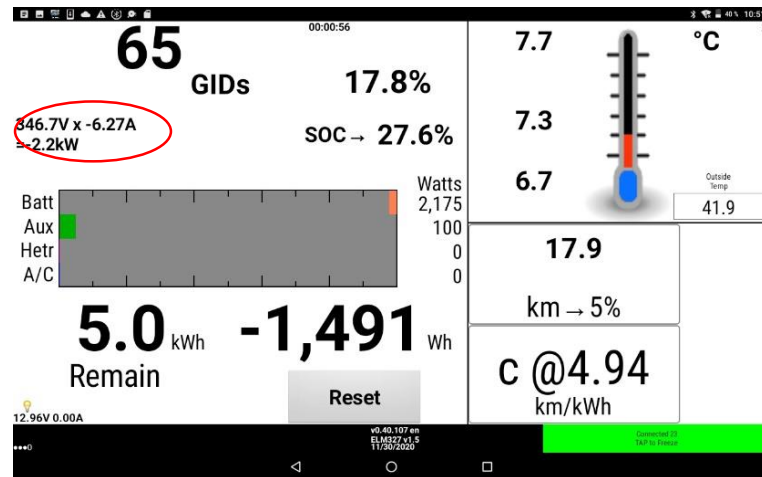
$$50,4 - 30,24 = 20,16 \text{ грн.}$$

Отже, встановлення багатотарифного лічильника призводить до значної економії витрат на заряд електромобіля.

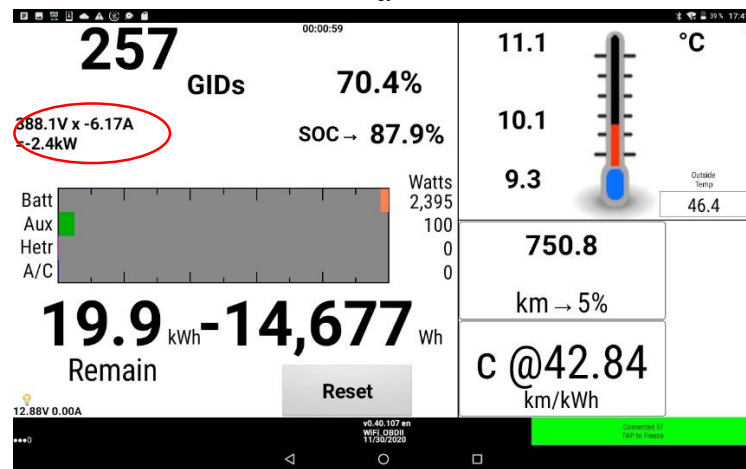
5. Заряд електромобіля Nissan Leaf

Використовуючи Сервісно-діагностичну програму Leaf Spy можна дослідити процес заряду високовольтної акумуляторної батареї (АКБ) електромобіля Nissan Leaf. На рис. 8.4 приведено зображення четвертого екрану програми Leaf Spy, де вказано струм та потужність з якою проходить процес заряду від побудованої сонячної зарядної станції для електромобілів.

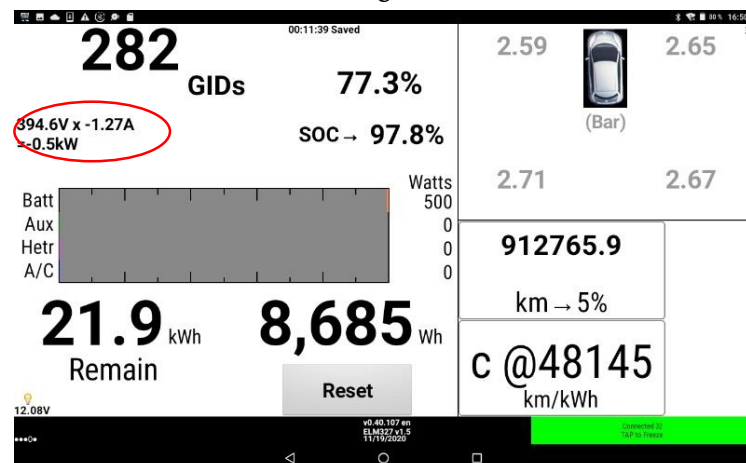
З наведених зображень, рис. 8.4 видно, що заряд електромобіля йде з потужністю 0,5...2,5 кВт. При цьому, система управління електромобіля на початку заряду бере приблизно 2,2 кВт потужності (рис. 8.4,а).



a



б



В

Рисунок 8.4 – Зображення четвертого екрану програми Leaf Spy: а – початок процесу заряду; б – середина процесу заряду; в - кінець процесу заряду

Потім, коли високовольтна АКБ прогрівається (дослідження проводились на початку зими, при температурі навколишнього середовища 0...5 °C), система управління збільшує зарядну потужність до 2,4...2,5 кВт (рис. 8.4,б). Під кінець процесу заряду потужність зменшується (рис. 8.4,в). На рис. 8.5 можна побачити струм заряду де червоним кольором позначені ті чарунки високовольтної АКБ, які в цей час балансуються до середнього рівня напруги (синій колір).

Робота під час заряду системи управління електромобіля Nissan Leaf має такий алгоритм, який як найкраще запобігає старінню високовольтної АКБ та зберігає її здатність продовж тривалого часу накопичувати і віддавати електроенергію без суттєвої деградації.

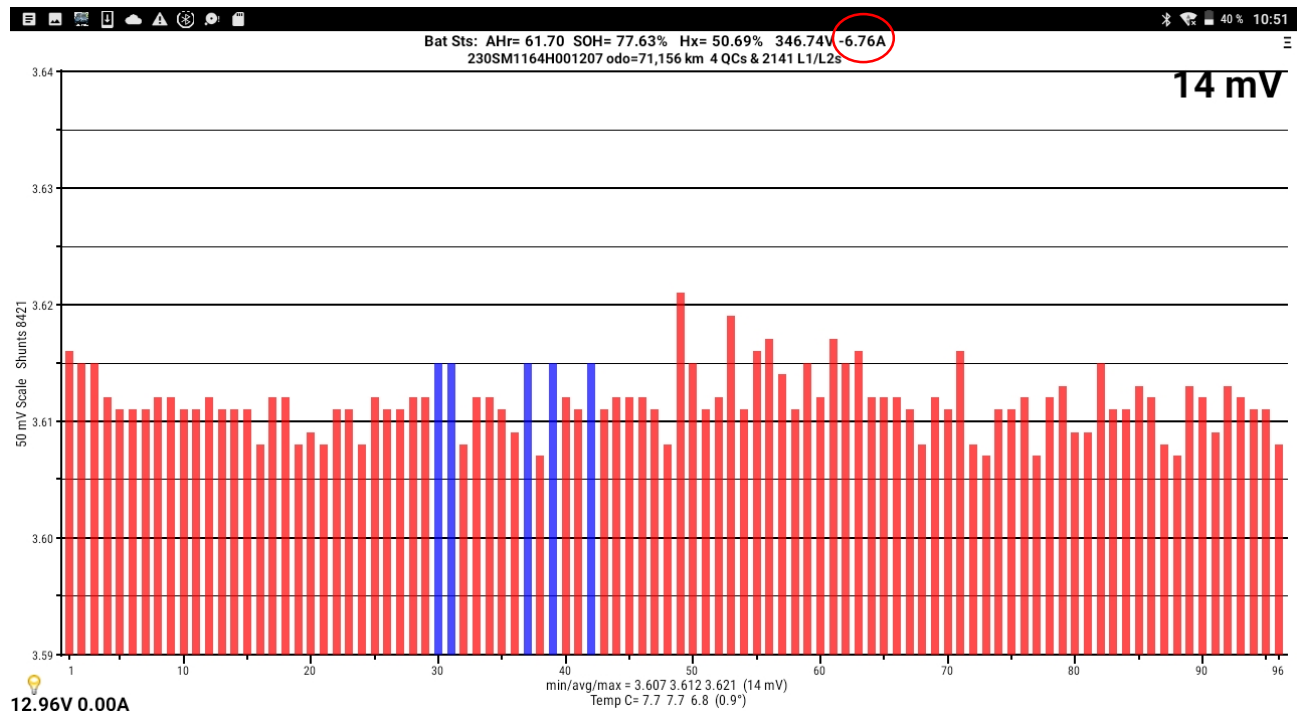


Рисунок 8.5 – Зображення першого екрану програми Leaf Spy