

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Гнатов Андрій Вікторович

Конспект лекцій з дисципліни
ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИХ АТЗ



Харків 2021

ЗМІСТ ЛЕКЦІЙ

Тема 1. Ретроспектива розвитку електричного автомобільного транспорту

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 гібридів

Лекція № 2

1. Класифікація електромобілів та гібридів
2. Водневий автомобільний транспорт

Тема 3 Економічний та екологічний вплив електричних АТЗ

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 Тяговий електродвигун для електричних АТЗ

Лекція № 4

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

Тема 5 Високовольтна тягова батарея для електричного автотранспорту та систем накопичення електроенергії

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 системи для автомобільного електротранспорту

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. Ретроспектива розвитку електричного автомобільного транспорту

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 (Ampere-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 Pope 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].

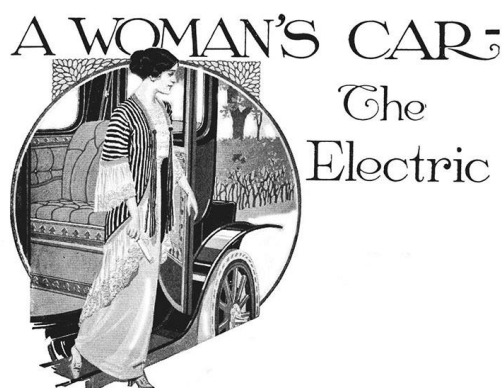
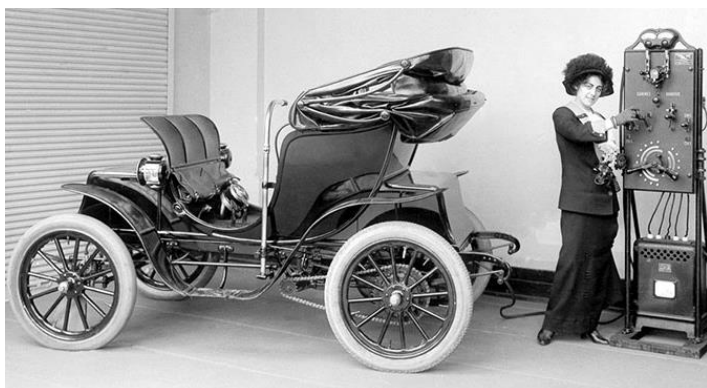


Рис. 1 Електромобіль, як жіноче авто: автоледі заряджає електромобіль Columbia Mark 68 Victoria (зліва) та обкладинка журналу 1912 р.

2. Переваги та недоліки використання електричного автомобільного транспорту

Під терміном електромобіль слід розуміти автомобіль, що наводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів, ємнісних накопичувачів енергії або паливних елементів. Перевагами електромобілів є: відсутність шкідливих вихлопів; простота конструкції і управління, висока надійність і довговічність; можливість заряджання від побутової електричної мережі. Також експерти відзначають, що масове використання електромобілів сприятиме у вирішенні проблеми енергетичного перенавантаження у денний час та нівелюванню надлишку електричної енергії у нічний час. А саме, цю проблему можна частково вирішити за рахунок заряджання акумуляторів в нічний час. Адже не використовується вночі електроенергія через відсутність нічного споживання, в енергосистемі України складає 30 %. Цю електроенергію просто нікуди дівати, у атомних станцій (63,5 % від загального виробітку) у гідроелектростанції (18 % від загального виробітку). Існуючі перепади в споживанні є реальною техногенною загрозою будь-якої енергосистеми [1].

Доволі часто проти електромобілів висловлюють такий аргумент, як можлива нестача електроенергії для їх заряду (при їх масовому використанні). Але доволі простий аналіз показує, що нові генеруючі потужності не знадобляться [2]. Наприклад, в США, за підрахунками незалежного агентства EIA, якщо весь автопарк з 250 млн машин сьогодні перевести на електротягу, то вночі (в період так званого провалу навантаження) енергії вистачить, щоб зарядити 79 % транспортних засобів. Денний спад енергоспоживання теж існує: сумарно «вільної енергії» вистачить на ті ж 79 % легковиків, однак важливо, щоб машини приїжджали на зарядку не коли заманеться, а в потрібні години. Це питання вирішується мобільним додатком, який підкаже оптимальний час для «заправки» електрикою. Такі сервіси вже доступні в Україні [3].

В Європі - інша проблема. У Данії, Норвегії та багатьох інших країнах, де розвинена альтернативна енергетика, проблемою є зовсім не дефіцит, а надлишок її генерації. Отже істотну частину європейського автопарку вже зараз вигідно перевести на електротягу. Більш того, через впровадження енергозберігаючих технологій споживання електрики в усьому світі постійно падає, а потужності залишаються – в майбутньому ці «вільні кіловати» і будуть заряджати батареї електромобілів [1–3].

На цей час практично всі відомі автовиробники розробляють свій власний або приймають участь у спільній розробці електромобіля, їх складових елементів чи систем заряду блоків накопичення енергії. Особливого прогресу в цьому напрямку досягли автомобільні підприємства з Китаю. Де практично кожен автовиробник має свій власний електромобіль або його прототип. Адже, китайський уряд з 2018 року зобов'язав всіх автовиробників, що працюють в Китаї, випускати як мінімум вісім відсотків електромобілів – або платити штрафи [4].

Отже, на цей час вже не стоїть питання буде чи не буде мати майбутнє електромобіль, як транспортний засіб масового виробництва. Відповідь на нього однозначна та всім очевидна – електромобіль вже є масовим транспортним засобом.

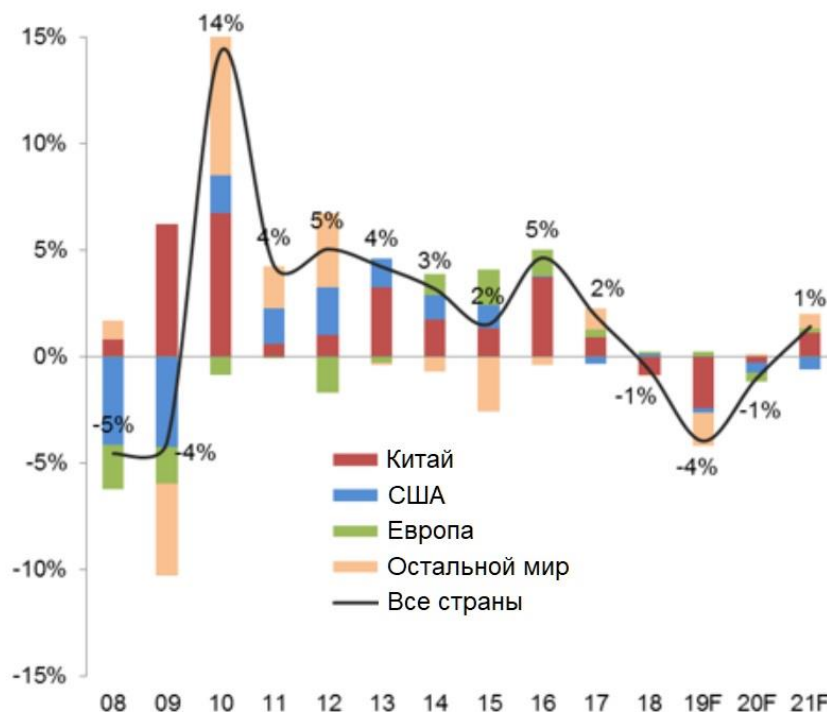
Розвиток електрокарів в конкретній країні напряму залежить від державної політики цієї країни стосовно екологічного виду транспорту. Наприклад, в Китаї, де сама державна політика стимулює розвиток електромобілів, а його ринок нараховує більше 60 моделей, з них 13 були продані в кількості більше 10 000 в 2016 р. Для порівняння, в США такими показниками можуть похвалитися лише п'ять моделей: Tesla Model S, Tesla Model X, Chevy Volt, Ford Fusion Energi і Nissan LEAF [5].

З кожним роком спостерігається постійне зростання кількості електромобілів майже у всіх країнах Світу. І Україна в цьому займає одне з перших місць. За підсумками 2016 р. кількість автомобілів на електротязі збільшилася в 4 рази у порівнянні з 2015 р. Станом на 31 грудня 2016 р. українці зареєстрували 2593 «зелених» машин: 1709 автомобілів на повністю електричній тязі і 884 - з гібридною силовою установкою [6]. На кінець 2016 р. кількість електромобілів у Світі вже нараховувала більше 2 млн [7]. Таким чином, в 2020 році у всьому світі по дорогах їздитимуть більше 10 млн. електромобілів.

Всього у 2020 році в світі буде продано 90,4 млн. нових автомобілів (з них 2,5 млн. складуть електромобілі, рис. 1.1).

В Україні станом на кінець 2020 р. загальна кількість електромобілів та гібридів складає понад 50 тис., рис. 1.2, 1.3.

Отже, цілком природньо виникає бажання розуміти всі етапи розвитку та становлення електромобілів, бо ці знання дають всебічну уяву, щодо їх можливостей, призначення та особливостей конструкції.



Источник: OICA, IHS, Bloomberg, Euler Hermes, Allianz Research

Рисунок 1.1 - Внесок окремих регіонів в приріст продажів на світовому автомобільному ринку (в процентних пунктах, кількість проданих нових автомобілів)

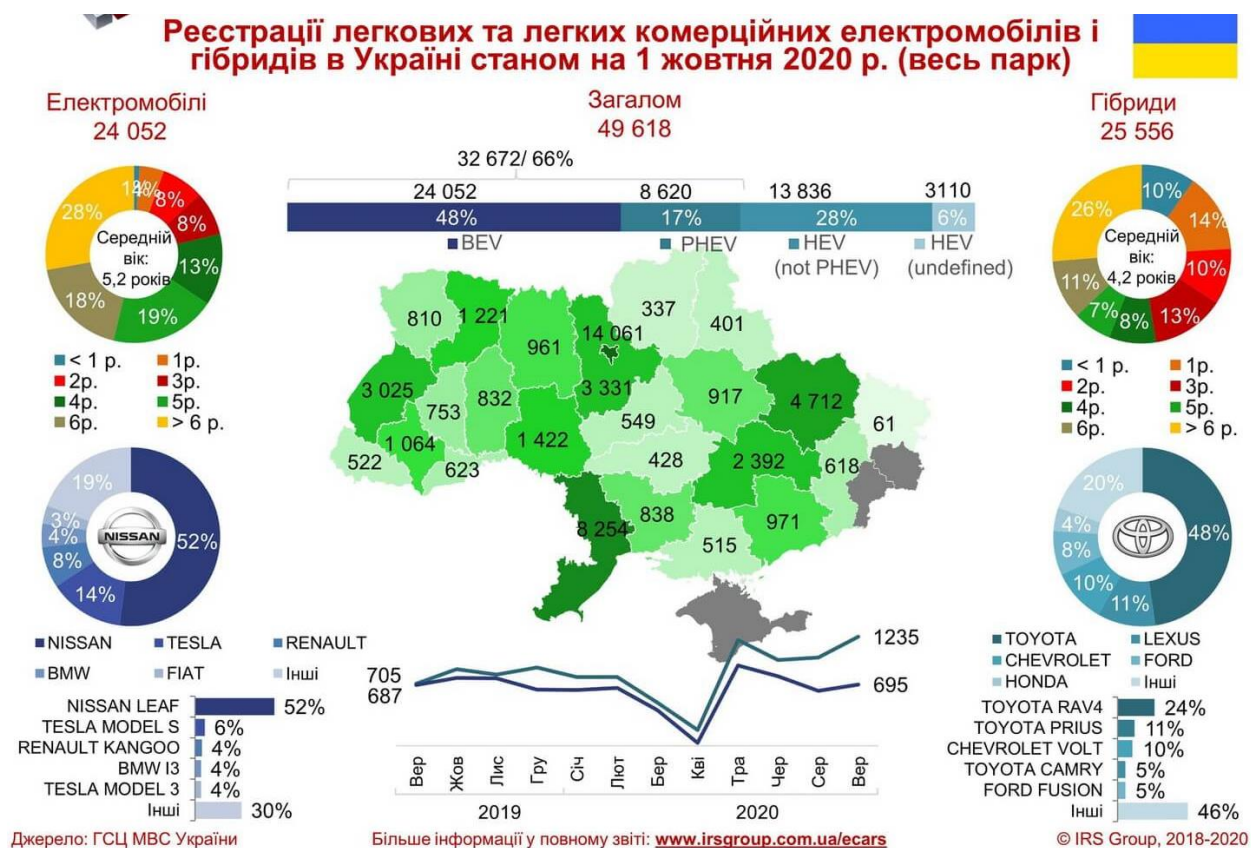


Рисунок 1.2 - Кількість зареєстрованих електромобілів в Україні станом на 1.10.2020 р.
Зареєстрований та прогнозний парк легкового та LCV електротранспорту (електромобілі та гібриди) в Україні, од.

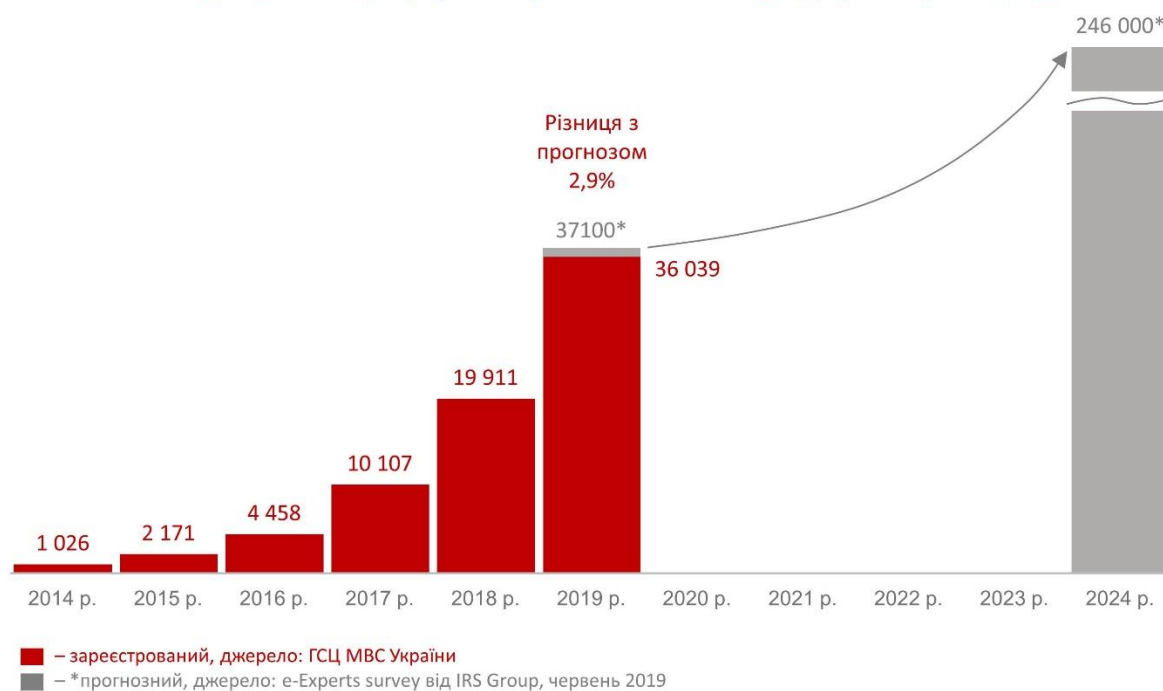


Рисунок 1.3 - Парк електромобілів в Україні

3. 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 досліди 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

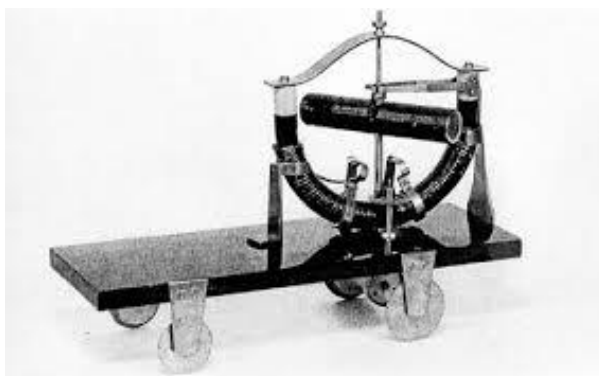


Рисунок 2 – Перший електромобіль - електровізок

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).

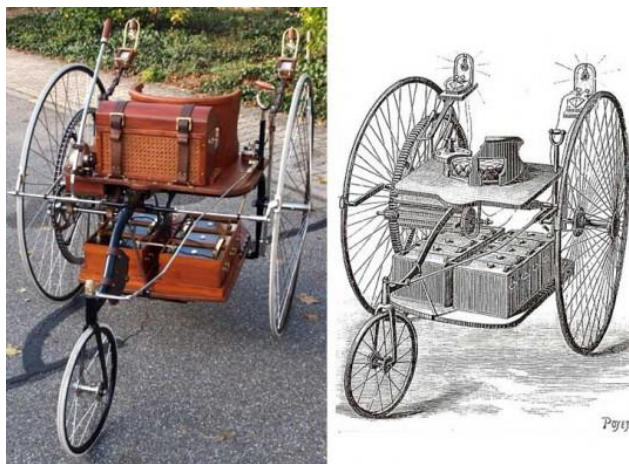


Рисунок 3 – Одна з перших моделей електромобіля зі свинцевими акумуляторами

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 1889 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).

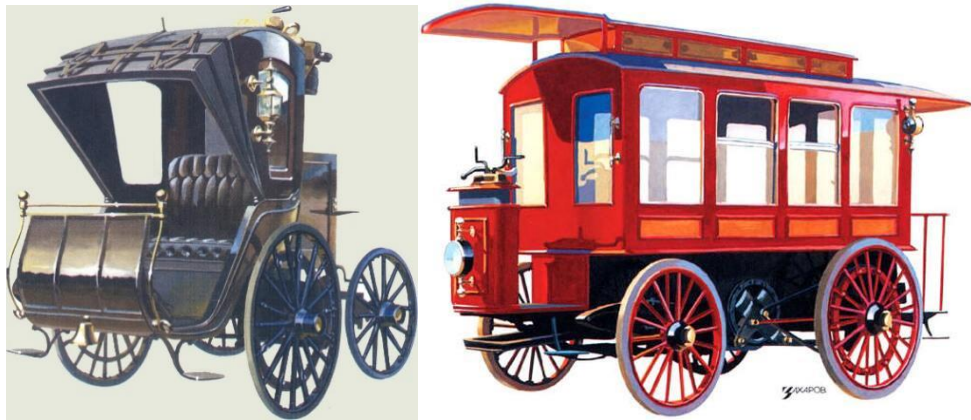


Рисунок 7 – Легковий 2-місний електрокеб і 15-місцевий електроомнібус російського інженера І. Романова

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.)

Електромобілі	Рік випуску	Корисне навантаження, кг	Повна маса з грузом, кг	Батарея		Запас ходу, 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	310 0	62	26
Фургон	1923	579	2700	16,2	800	67	30
Грузовий	1923	5972	12061	45,0	160 0	55	22
	1923	2000	4750	20,7	110 0	----	----
	1924	1470	4554	26,9	100 0	68	26,5
	1924	6468	13835	52,5	215 0	47	18
	1926	1030	3645	17,2	900	75	20,7
	1926	4070	9100	28,4	150 0	58,7	17
	1929	3500	8760	28,4	156 0	60	26

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

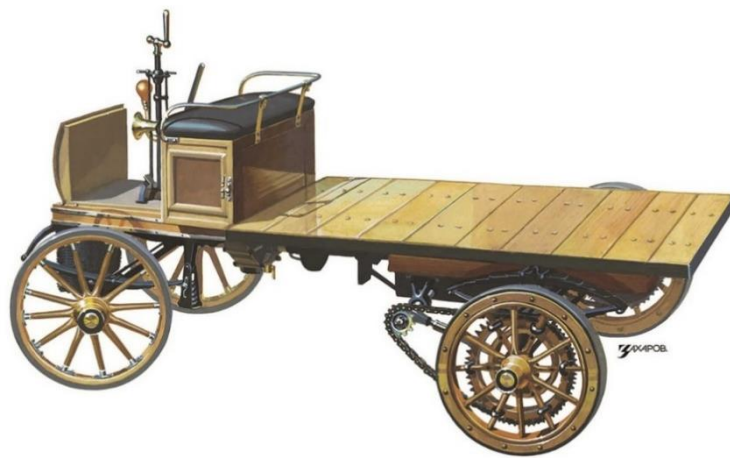


Рисунок 10 – Одна з конструкцій електромобіля у вигляді електровізка

В перші десятиліття XX 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 XX 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 XX століття, характеризується новим підвищеним 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 XX 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. 14 [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 14 – 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 вмщав 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. 15. Також проводились роботи з моделлю РАФ-2210 в якості електромобіля. В 1982 р. 3 таких машини доставлені в Москву в якості таксі, рис 16.



Рисунок 15 – Мікроелектробус РАФ-2203



Рисунок 16 – 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. 17.

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 17 – 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. 18. 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 18 – 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 найкращій 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. 19 [20]. Світова прем'єра відбулася на міжнародному токійському автосалоні в 2009 р.

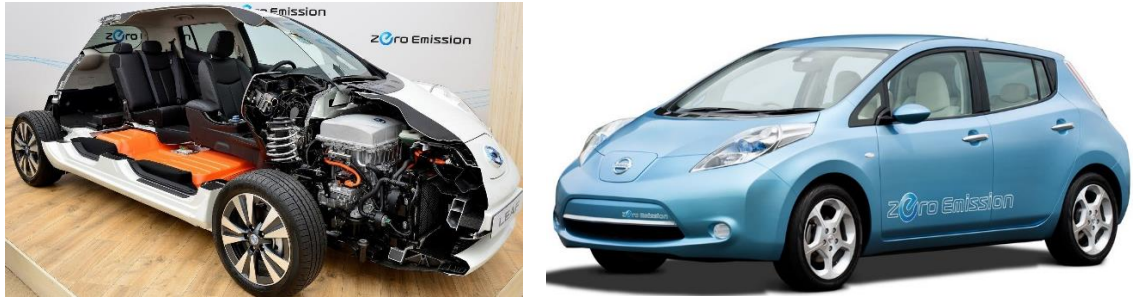


Рисунок 19 – Електромобіль Nissan Leaf

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 IT-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 E6 був представлений на автосалоні в Пекіні в 2008 р., рис. 20. У січні 2010 р. в Детройті дебютувала передсерійна версія авто, а роком пізніше – готова до масового виробництва. Електромобіль BYD E6 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 E6 може скласти 140 км/год [25, 26].



Рис. 20. Електромобіль BYD E6

4. Аналіз світових тенденцій в царині електромобілів

Ринок електромобілів тільки 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. 21 [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. 21. 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. 22 [29].



Рис. 22. 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 електромобілі 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-uvelichilos-v-4-raza-i-sostavilo-2600-edinits.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-ElektromobiliIstoriyaievoluyutsiyamashinnabatareyakh/
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. Электромобиль 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-uvlichitsya-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-elektroenergij-video.html>.
31. Электромобиль Chevy Bolt стал лучшим автомобилем года в Северной Америке // 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-novyy-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 гібридів

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 increaserange (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).

Середні гібриди. Середній гібрид більш складний. У таких автомобілях встановлюється електродвигун потужністю 30-60 кВт. Електродвигун підтримує двигун внутрішнього згорання. 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 ДВЗ. Це робить їх більш економічними, ніж середні гібриди. Електродвигун використовується на низьких швидкостях, де електродвигун набагато ефективніше ДВЗ. Це також означає, що ДВЗ 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 ДВЗ 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 ДВЗ.

Наступний тип гібридів це – RXBEV гібриди

RXBEV. Також можна зустріти такий підтип гібридів як – RXBEV. RXBEV це електромобілі зі збільшеним запасом ходу.

Так чим він відрізняється від PHEV?

Відмінність є, і досить таки суттєва. Справа в тому, що RXBEV – це повноцінні електромобілі. Вони здатні їхати виключно на електричній тязі, до моменту повного розряду акумуляторних батарей. Після цього в дію вступає ДВЗ, однак його зусилля спрямовані не на обертання коліс, а на вироблення енергії для живлення тягового АКБ. У певному сенсі RXBEV – це гібрид навпаки.

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 (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 ДВЗ, з газотурбінними двигунами, так і з водневими паливними елементами.

Перший ДВЗ, 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 зацікавлення водневим транспортом

Використання водню як енергоносія дозволить як істотно скоротити споживання викопних вуглеводневих палив, так і значно просунути 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, що призводить до збільшення захворюваності на астму, оксиди сірки, що призводить до кислотних дощів 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 тон 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 високій 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 живлення 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 почав 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 ДВЗ.

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 погано працюють при низьких температурах.

ЛЕКЦІЯ № 3

Тема 3 Економічний та екологічний вплив електричних АТЗ

1. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище

Оскільки сучасна культура і технології продовжують розвиватися, це все спричиняє явище глобального потепління і незворотні зміни клімату, що викликає все більшу стурбованість у населення світу.

Країни всього світу працюють над тим, щоб радикально скоротити викиди CO₂, а також інших шкідливих забруднювачів навколишнього середовища. Серед найбільш помітних виробників цих забруднювачів – автомобілі, які приводяться в рух двигунами внутрішнього згоряння і роблять шкідливі для здоров'я викиди.

За різними даними, на легкові та вантажні автомобілі припадає майже 25% викидів CO₂, а інші транспортні засоби – ще 12%.

Однією з можливих альтернатив світової залежності від стандартних автівок на ДВЗ є електромобілі.

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

- забруднення відпрацьованими газами автомобілів;
- економічність паливу;
- джерела енергії;
- ефективність автомобіля;
- економічні показники;
- 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 суттєво знижують викиди CO₂. 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 авто з ДВЗ.

Проте, при оцінці екологічності електромобіля, 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 CO₂ 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 авто, полягає в тому, що ефективність електромобілів вища.

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

Розглянемо приклад щоб стало зрозуміліше. 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 км 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 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 угода 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 електростанцій 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 Tesloop 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 вже, у більшій мірі, знайдено.

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 великі АКБ, що вимагають відповідних виробничих ресурсів. Але, також слід зазначити, що енергоемність 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 планується, що 100% енергії буде отримуватися від поновлювальних джерел. Все це вселяє впевненість, що світ рухається 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.

ЛЕКЦІЯ № 4

Тема 4 Тяговий електродвигун для електричних АТЗ

1. Електродвигун-генератор

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

У цій лекції буде розглянуто один з важливих елементів рухової системи, а саме, тягові електродвигуни. Розглянемо їх різновиди та особливості експлуатації. Розглянемо специфіку роботи електродвигуна в гібридних автомобілях та принцип 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.

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

1) Електродвигун складається з десятків рухомих деталей, тоді як ДВЗ з сотень (рис. 1.1). Це безпосередньо вказує на високу надійність електродвигуна в порівнянні з ДВЗ.

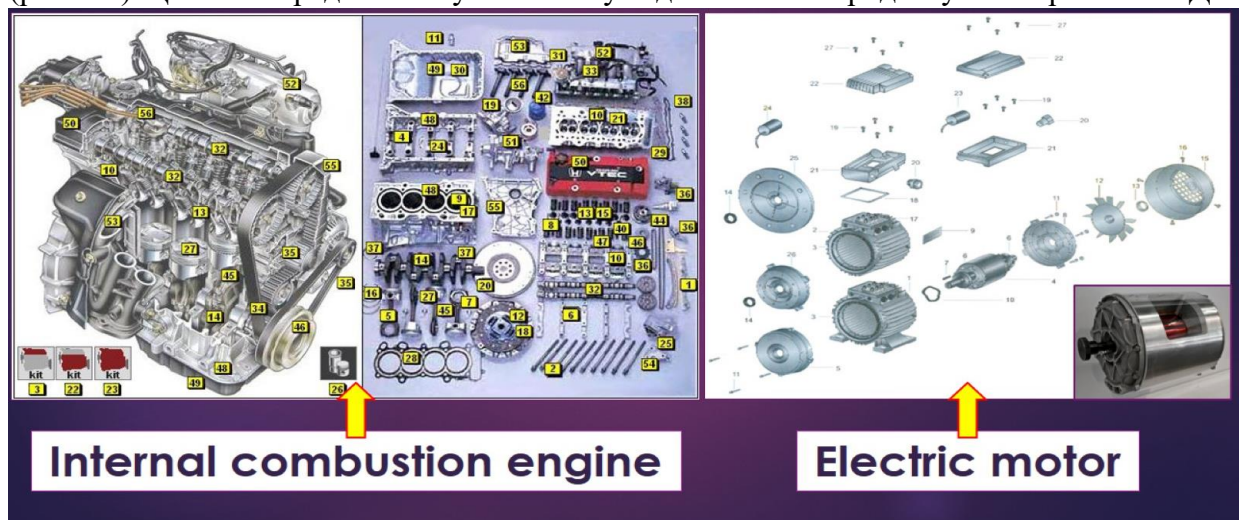


Рис. 1.1

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 перемикання передач. Для реверсу двигуна, тобто включення заднього ходу, досить змінити полярність (для двигунів постійного струму) змінити чередування (послідовність) (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 (рис. 1.2):

- двигуни змінного струму;

- двигуни постійного струму;
- комбіновані двигуни.

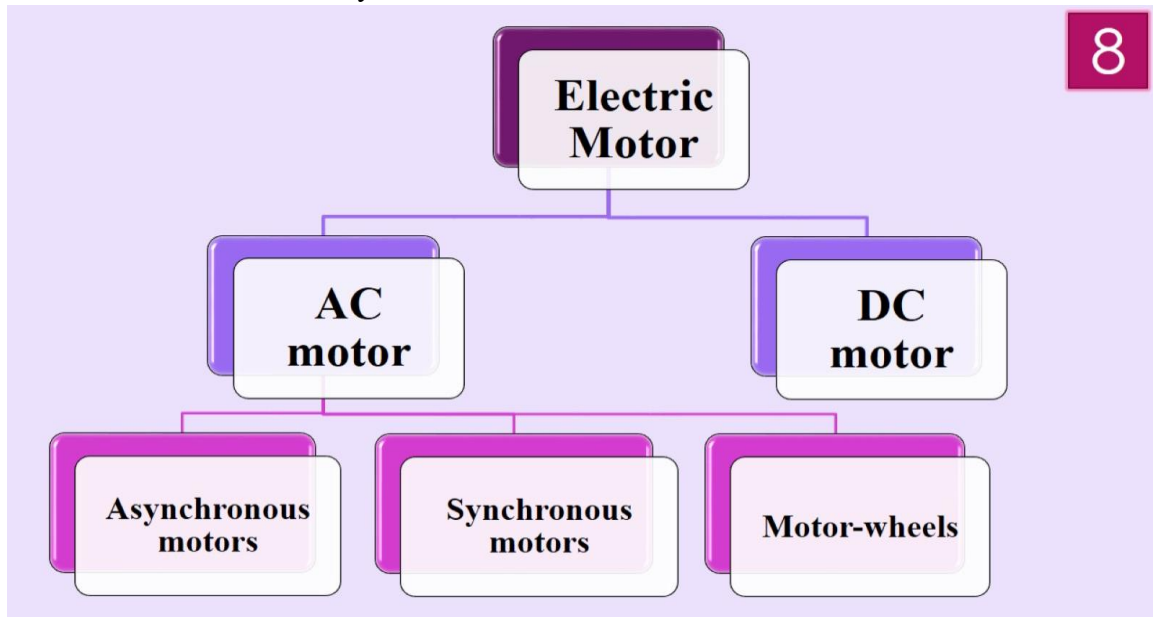


Рис. 1.2

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.

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 АД.

Розглянемо принцип дії електродвигуна на прикладі асинхронного трифазного електродвигуна, тому що саме такі застосовуються в якості тягових електродвигунів в електромобілях.

Електродвигун трифазного 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. 2.1).

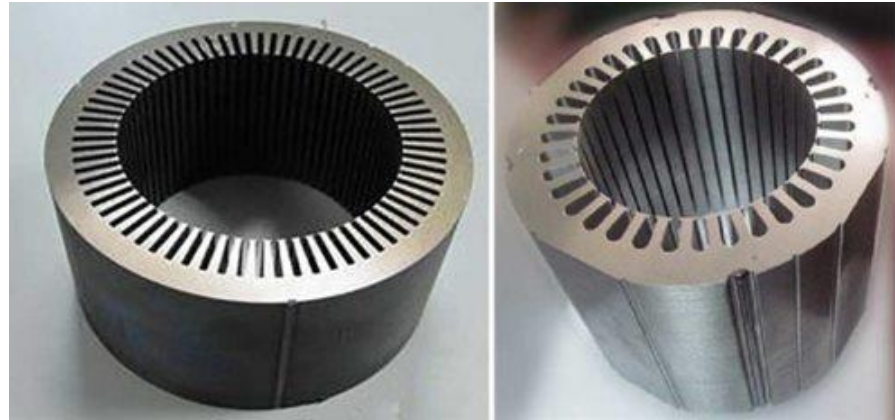


Рис. 2.1

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

Обмотка ротора може бути виконана трифазною, аналогічно обмотці статора. Кінець фази такої обмотки ротора з'єднується зазвичай в «зірку», або у «трикутник», а початок за допомогою контактних кілець і металлографітної щітки виводиться назовні. Така асинхронна машина називається машиною з **фазним ротором** (рис. 2.2). До контактних кілець зазвичай приєднується трифазний пусковий або регулювальний реостат. Фазна обмотка ротора виконується з тим же числом полюсів, як і статорна обмотка.

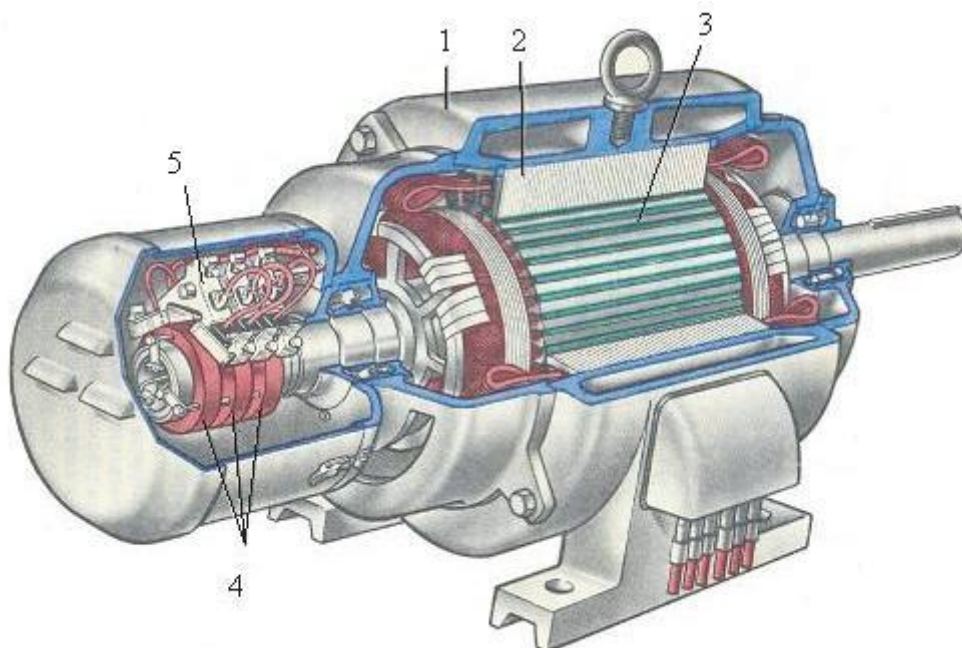


Рис. 2.2

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** (рис. 2.3). 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.

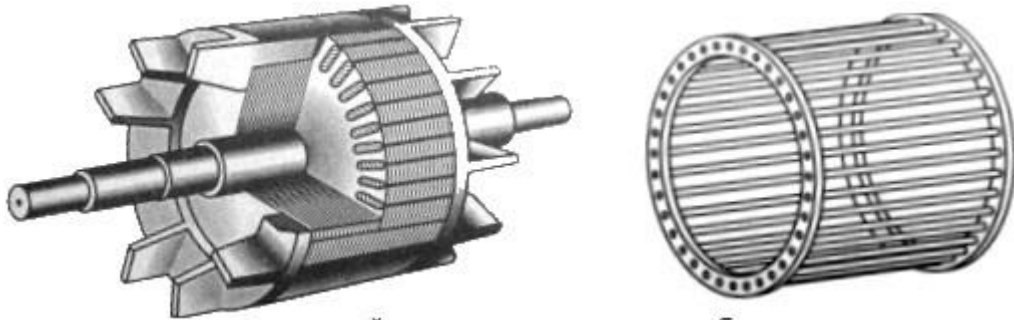


Рис. 2.3

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

$$n_1 = \frac{60 f}{p}$$

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 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 $n \neq n_1$.

Ковзання s — це величина, яка показує, наскільки синхронна частота n_1 магнітного поля статора більша, ніж частота обертання ротора n , в процентному співвідношенні.

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 (рис. 3.1) .

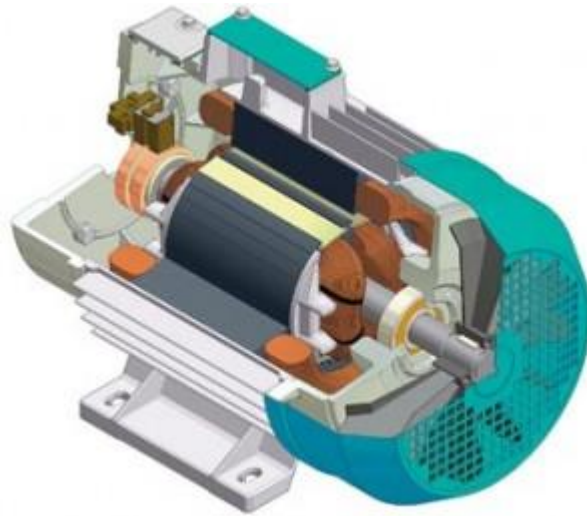


Рис. 3.1

Статор синхронної машини (СМ) називається якорем. На статорі розташована трифазна 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. 4.1;
- постійні магніти на основі рідких металів;
- високий питомий момент;
- застосування композиційних матеріалів і сплавів.

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 високою точністю.

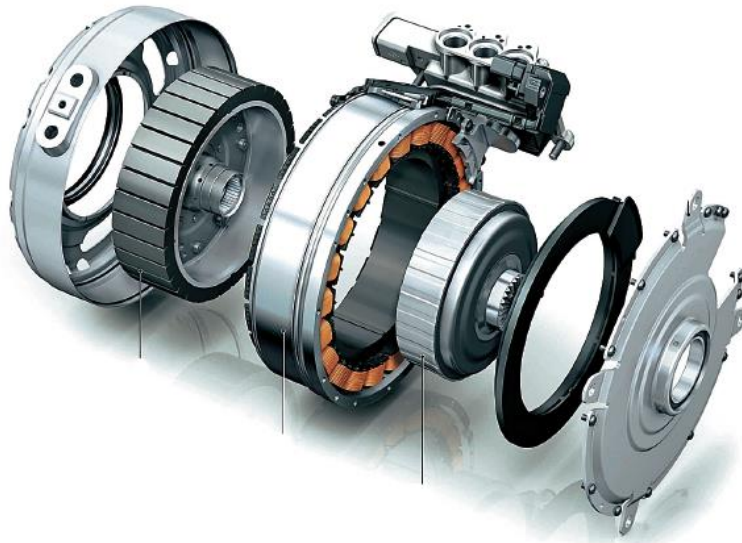


Рис. 4.1

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 (неподресорені) 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-колес. Наприклад, сигвей, моноколесо, електровелосипеди тощо.

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.

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.

ЛЕКЦІЯ № 5

Тема 5 Високовольтна тягова батарея для електричного автотранспорту та систем накопичення електроенергії

1. Високовольтна тягова акумуляторна батарея

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

У цій лекції 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 (АКБ).

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, яку 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 силовій електроніки. Блок силовій 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 потужність 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]. Через щільність енергії АКБ можна 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 тягову АКБ за допомогою пристроїв, які відновлюють до 80% заряду за 30-60 хвилин, можна в 1,5-2 рази прискорити процес її деградації. 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 АКБ.

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

Renault Zoe	41	367
Smart ForTwo Electric Drive	17,6	160
Tesla Model 3	75	320
Tesla Model S	60	350
	70	500
	100	600
Tesla Model X	100	475
Volkswagen e-Golf	24,2	170
Volkswagen e-Up	18,7	160

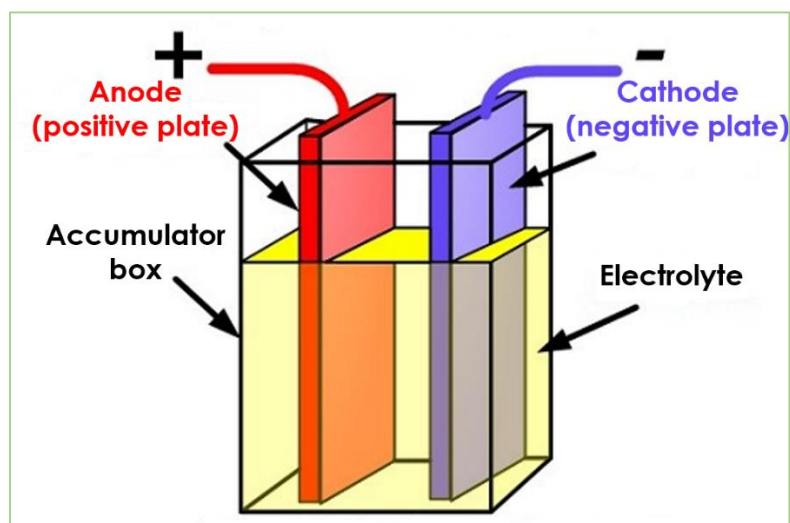
3. Типи акумуляторних батарей

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

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 ел.ен. входить або виходить з компонента в колі. 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 АКБ. 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 свинцевою 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 суттєвих недоліки, 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 «ледачої 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

У цих АКБ 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 батарей, проявляється в меншій мірі. Але і у цих акумуляторних батарей 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

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 в точності дотримуватися вказівок виробника з техніки безпеки.

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 затвердженим 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 струм розряду 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 пожегобезпечні 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

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. Твердотільні АКБ

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 «влезить» 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 загоряться 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.

--	--	--

	20–40	15–80	80–220	2–10
	100–300	500–1300	800–3000	1500–12000
	100–400	300–2000	500–2500	
	2–10	2–15	3–10	
Working temperature, °C				
	70–85	65–80	80–95	
	50–120	75–400	176–670	50–100

ЛЕКЦІЯ № 6

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

1. Перетворювачі струму для електричного автотранспорту

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 тяговим 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 В або 24 В).

Для цих цілей використовуються різні перетворювачі напруги постійного струму і інвертори. 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 постійної напруги; DC-AC інвертор і AC-DC випрямляч

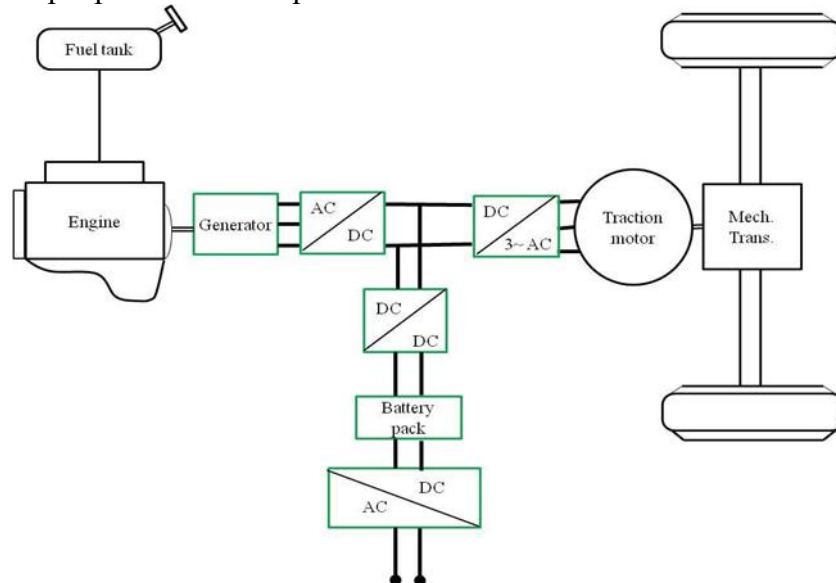


Рис. 1: General Configuration of a Electric Vehicle

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

2. Boost-конвертер - підвищуючий перетворювач: на рис. 2b показаний підвищує перетворювач. У нього вихідна напруга завжди більша, ніж вхідна.

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

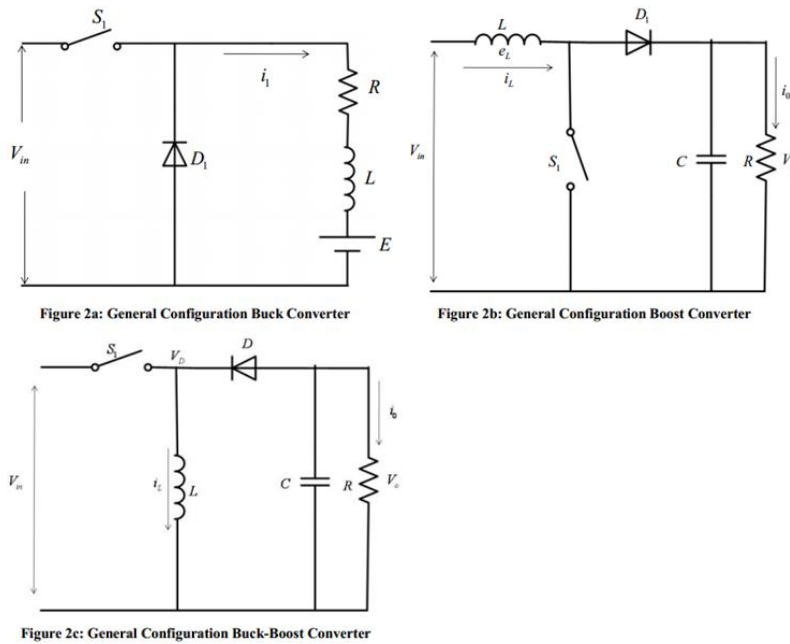


Рис. 2

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 та захисні пристрої тощо.
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 сторони 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 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 вимог, за допомогою 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.

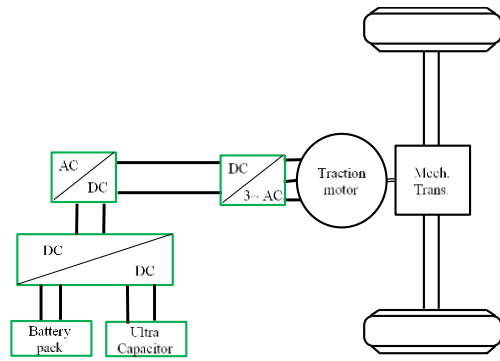
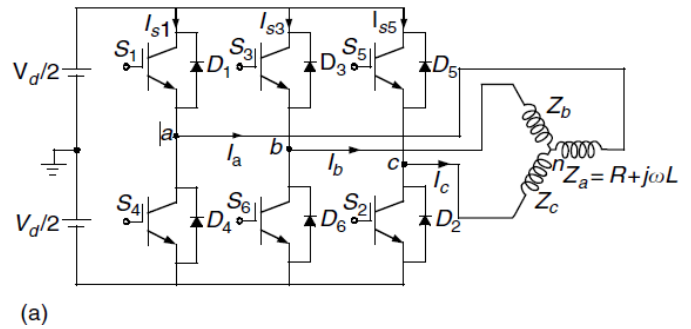


Figure 1: Configuration of electric vehicle [1]



DC/AC inverter topology

4. Випрямляч AC- DC

Випрямляч – це пристрій, схожий на інвертор DC-AC, за винятком того, що він виконує зворотнє 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 силовій електроніки.

5. Основи перетворення змінного струму в постійний, основні розрахункові співвідношення

Для одержання постійного струму необхідної якості із змінного струму що надходить, використовуються т.зв. вторинні джерела електроживлення.

До складу вторинних джерел електроживлення, як правило, входять:

Трансформатор, випрямляч, фільтр що згладжує, стабілізатор



Трансформатор використовується для одержання напруги необхідної величини і гальванічної розв'язки.

Випрямляч - для перетворення змінної напруги в пульсуючу напругу.

Фільтр, що згладжує - для фільтрації пульсацій

Стабілізатор - для підтримки, незмінною, напруги на навантаженні, при коливаннях навантаження і вхідної напруги.

Основу випрямляча складають один або декілька з'єднаних елементів з односторонньою провідністю - вентилів.

Випрямлячі класифікуються по типу вентиля і схемі випрямлення, а також по величині випрямленої напруги і корисної потужності.

По типу вентиля:

- **З електронними вентилями** - кенотронні (електровакумний діод(високі напруги))

- **З іонними вентилями** - газотронні, ртутні (газорозрядні 2-х електродні прилади з несамоствійним дуговим розрядом, наповнені інертним газом або парами ртуті)
- **З напівпровідниковими вентилями** (селенові, германієві, кремнієві)

Схеми випрямлення класифікують по ряду характерних ознак:

1. У залежності від числа фаз джерела змінного струму, що визначають число m_1 фаз, первинного кола трансформатора (кількість первинних обмоток) розрізняють схеми випрямлення
 - Однофазні ($m_1 = 1$)
 - Трифазні ($m_1 = 3$)
 2. У залежності від числа фаз m_2 вторинного кола трансформатора (кількості вторинних фазних обмоток):
 - Однофазні ($m_2 = 1$)
 - Двофазні ($m_2 = 2$)
 - Трифазні ($m_2 = 3$)
 - Шестифазні ($m_2 = 6$)
- Перший і другий ознаки дозволяють дати характеристику силовому трансформатору, як перетворювачу числа фаз.
3. У залежності від способу підключення навантаження до вторинних обмоток трансформатора:
 - Нульові схеми випрямлення (НСВ)
 - Мостові схеми випрямлення (МСВ)

По способу перетворення змінного струму в постійний пульсуючий струм розрізняють:

- Однотактні (однапівперіодні) схеми випрямлення ($q = 1$)
- Двотактні (двонапівперіодні) схеми випрямлення ($q = 2$).

Всі нульові схеми випрямлення є однотактними, а усі мостові двотактними.

У однотактних схемах, струм у фазній обмотці трансформатора тече протягом одного напівперіоду (такту) що перетворюється напруги або його частини. У двотактних схемах випрямлення струм у фазній обмотці трансформатора тече протягом двох напівперіодів напруги що перетворюється або їх частин.

По числу фаз випрямлення (кількості пульсацій випрямленої напруги U_0 за період T живлячої мережі U_1) розрізняють схеми випрямлення:

- Однофазні ($m = 1$)
- Двофазні ($m = 2$)
- трифазні ($m = 3$)
- Шестифазні ($m = 6$)
- дванадцятифазні ($m = 12$)

Під числом m розуміють добуток

$$m = m_2 \cdot q.$$

*Процес почергового підключення вентилів вторинних обмоток фаз до навантаження називається **комутацією**.*

Схема напівпровідникового перетворювача, у котрій один вивід постійного струму є нульовою точкою трансформатора або мережі змінного струму, а інший з'єднаний разом катодами або анодами називається **НУЛЬОВОЮ СХЕМОЮ**.

*Схеми напівпровідникових перетворювачів у який перетворюються обидва напівперіоди змінної напруги, є **двонапівперіодними**.*

Двонапівперіодні схеми напівпровідникових перетворювачів, що містять дві і більш пари плечей перетворювача, середні виводи яких є виводами змінного струму, а крайні виводи з однаковою полярністю, з'єднані разом є виводами постійного струму, називаються **мостовими схемами** перетворення.

У мостових схемах приймач електроенергії підключається до фази трансформатора так, що струм у вентильній обмотці за період струму що випрямляється тече в двох напрямках.

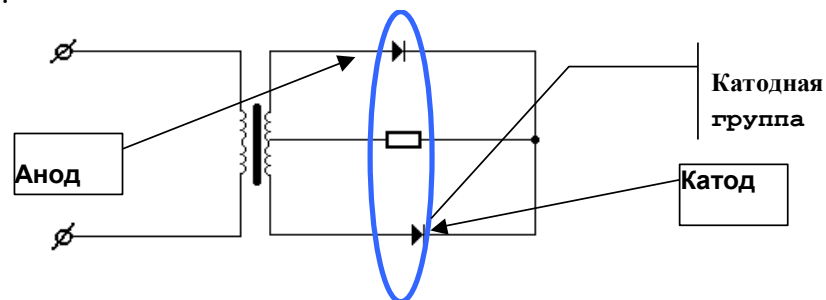
*Плечем напівпровідникового перетворювача називається ділянка електричного кола, що містить один, або декілька **одночасно провідних** приладів, що працюють у ключовому режимі, і при необхідності інші компоненти кола.*

У випрямлячах вентилі з'єднуються в *катодну* або *анодну* групи.

Якщо усі вентилі приєднуються до обмоток фаз анодами, а їхні катоди з'єднуються в одну точку то така група вентилів називається **катодною**. Загальна точка катодів є позитивним полюсом для приймачів електроенергії, а точка вторинної обмотки трансформатора з нульовим потенціалом (нульова точка) - негативним.

Якщо усі вентилі приєднуються до обмоток фаз катодами, а їхні аноди з'єднуються в одну точку то така група вентилів називається **анодною**. Загальна точка анодів є негативним полюсом для приймачів електроенергії, а точка вторинної обмотки трансформатора з нульовим потенціалом (нульова точка) - позитивним.

ПРИКЛАД:

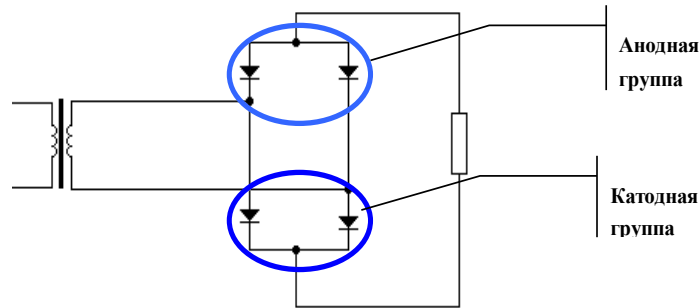


Схеми з катодною групою називаються схемами з загальним катодом, а схема з анодною групою схемою з загальним анодом.

У двотактних (мостових) схемах до вторинної обмотки трансформатора підключаються **дві** комутаційні групи вентилів (із них одна з загальним катодом, а інша з загальним анодом і приймач електричної енергії включений між катодом і анодом).

До кожної обмотки фази один вентиль, що входить у катодну групу, приєднується анодом, а інший вентиль вхідний в анодну групу - катодом.

Мостові схеми є двотактними, тому що струм у кожній фазі їхньої вентильної обмотки проходить у двох напрямках: при роботі вентиля катодної групи струм спрямован від нульової точки трансформатора до загальної точки катодів вентилів, а при роботі вентилів анодної групи - від загальної точки анодів вентилів до нульової точки трансформатора.



У катодній групі проводить той діод у якого анодна напруга вище інших. Комутація вентилів катодної групи відбувається в той момент, коли напруга фази, що вступає в роботу, стає або рівною напрузі працюючої фази або більше неї. У анодній групі проводить той діод у який напруга катода найменше. Комутація вентилів анодної групи виникає в той момент, коли напруга фази, що вступає в роботу, стає або рівною напрузі працюючої фази, або менше неї. Загальний катод завжди є плюсовим, а загальний анод мінусовим виводом схеми випрямлення.

Електричні параметри схем випрямлення

Напівпровідникові перетворювачі змінного струму в постійний мають цілий ряд параметрів, що характеризують їхні експлуатаційні властивості. При розробці і проектуванні ці параметри вважаються розрахунковими.

При аналізі схем Випрямлячів і розрахунку параметрів їхніх елементів (обмоток трансформатора, вентилів) вихідними величинами є номінальна випрямлена напруга $U_{dн}$, номінальний випрямлений струм $I_{dн}$ і напруга живлячої мережі U_1 .

У процесі аналізу схеми визначаються наступні величини.

- Середні значення випрямленого струму і напруги U_d і I_d ;
- Діюче значення вторинної обмотки фази трансформатора U_2
- Коефіцієнт пульсації випрямленої напруги K_n й інші.

Для **нульових схем** із числом фаз вторинної обмотки m_2 ($m_2 \geq 2$) середні значення випрямленої напруги і Струму визначається відповідно по формулах

$$U_d = \frac{m_2 \sqrt{2} U_2}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_2};$$

$$I_d = \frac{U_d}{R_n} = I_{2m} \frac{m_2}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_2}$$

Для мостових схем випрямлення

$$U_d = \frac{m_2 \sqrt{2} U_{2л}}{\pi} \sin \frac{\pi}{2m_2} = \frac{4m_2 \sqrt{2} U_2}{\pi} \sin \frac{\pi}{m_2} \sin \frac{\pi}{2m_2}$$

$$I_d = \frac{U_d}{R_n} = \frac{2m_2}{\pi} I_{2mл} \sin \frac{\pi}{2m_2} = \frac{4m_2}{\pi} I_{2m} \sin \frac{\pi}{m_2} \sin \frac{\pi}{2m_2}$$

Коефіцієнт пульсації схеми Випрямляча являє собою відношення амплітуди гармоніки пульсацій до середнього значення випрямленої напруги

$$K_{II} = \frac{U_m}{U_d}$$

Однонапівперіодної (нульовий) схеми

$$K_{П1} = \frac{U_{m(k=1)}}{U_d} = \frac{1,57U_d}{U_d} = 1,57.$$

У загальному випадку

$$K_{Пk} = \frac{2}{(km)^2 - 1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Для мостовий

$$K_{nk} = \frac{2}{(2km)^2 - 1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Для будь-якої схеми випрямлення справедлива формула

$$K_{П1} = \frac{\Delta U_d}{2U_d} = \frac{u_{0\max} - u_{0\min}}{2U_d}.$$

де $u_{0\max}$, $u_{0\min}$ відповідно максимальне і мінімальне значення випрямленої напруги.

Коефіцієнт використання вентилів по напрузі і струму

$$K_{VU} = \frac{U_d}{U_{обр.\max}},$$

$$K_{VI} = \frac{I_{Vd}}{I_d}.$$

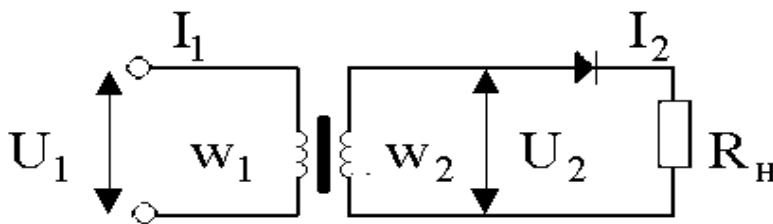
Коефіцієнт випрямлення:

$$K_\theta = \frac{U_d}{U_2}$$

Чим вище K_θ , тим більше ефективно здійснюється схемою випрямлення процес перетворення Змінного Струму в постійний пульсуючий струм.

6. Діодні перетворювачі однофазного змінного струму, електромагнітні процеси, що в них відбуваються

Однотактна 1 фазна схема випрямлення.



$$\begin{aligned} m_1 &= 1; \\ m_2 &= 1; \\ \text{НСВ} \\ \alpha &= 1; \\ m &= 1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{П1} &= 1,57 \\ K_{VU} &= 0,32 \\ K_{VI} &= 1 \\ K_B &= 0,18. \end{aligned}$$

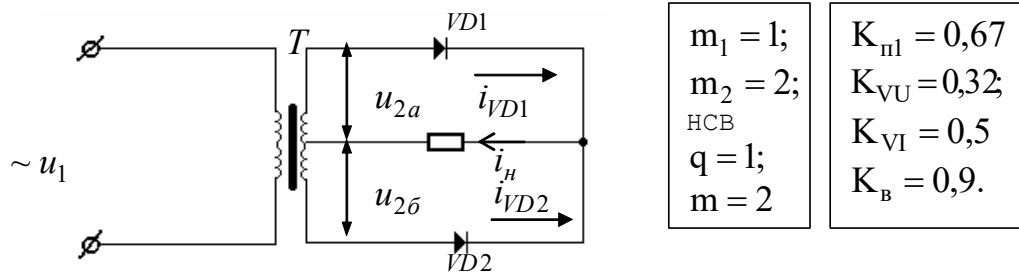
Однотактна 1 фазна схема є найпростішою схемою Випрямляча, її склад видно з рисунка.

Робота схеми. Під час першого напівперіоду на аноді діода «+» а на катоді «-». Діод відкрито всю напругу виділиться на навантаженні. У час другого напівперіоду діод (вентиль) закритий струм не тече, уся напруга падає на діоді.

Переваги: простота, малі габарити, висока надійність, мала вартість.

Недоліки: великі пульсації випрямленої напруги, наявність постійного підмагнічування трансформатора (підвищені втрати і збільшення розмірів трансформатора.)

Однотактна 2 фазна (нульова) схема випрямлення.



Робота схеми. Особливістю схеми, є наявність серединного відводу обмотки трансформатора, що іменується нульовою точкою. Оскільки навантаження підключене до цієї точки, то роботу схеми будемо розглядати відносно її. Допустимо в початковий момент часу струм тече по напрямку збіжному із струмом i_{VD1} тоді, діод $VD2$ його пропускати не буде і струм потече через навантаження до нульової точки трансформатора. У наступний напівперіод ситуація зміниться на протилежну - струм потече через діод $VD2$, навантаження до нульової точки. Тік буде текти по черзі по плечах схеми, однак у навантаженні він буде одного напрямки. Однак напруга на замкненому діоді буде в два рази більше чим на навантаженні.

Переваги схеми:

Використовуються обидва напівперіоди синусоїдальної напруги, немає підмагнічування тр-ра.

Недоліки:

Подвійна напруга на замкненому діоді.

3.2.3. Двотактна, однофазна (мостова) схема випрямлення.

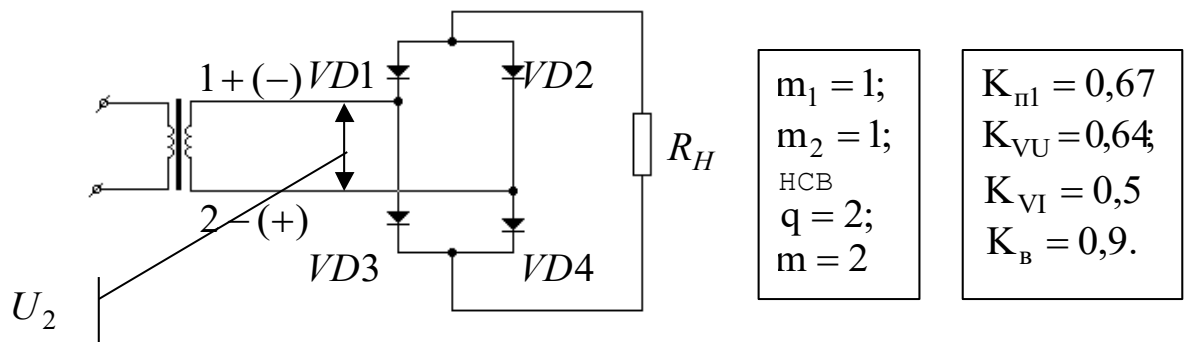


Схема містить трансформатор і чотири вентиля, зібрані за схемою моста. До однієї діагоналі моста підводиться U_2 , у другу включається навантаження (R_H). При позитивному напівперіоді (1+) VD_2, VD_3 - відкриті. Протягом негативної півхвилі, (1-), відкриті VD_4, VD_1 . Як у першому, так і в другому напівперіодах, струм через навантаження тече в однім напрямку.

Переваги:

- Вдвічі менше зворотний опір на діодах.
- Вдвічі менше U_2 для одержання заданого значення $U_{\text{ср.в.}}$.
- Завдяки великому вхідному опоріві схема може бути включена в мережу і без трансформатора.

Недоліки:

- 4 вентиля
- втрати більше чим у попередніх схем

7. Діодні перетворювачі трифазного змінного струму

Оскільки трифазна мережа є дуже поширеною, то з'являється можливість одержувати випрямлений струм із 3-х фазного. У Однотактних і двотактних схемах випрямлення за рахунок ефекту «перекриття фаз» струм у фазній обмотці трансформатора тече протягом частини одного або двох напівперіодів одночасно.

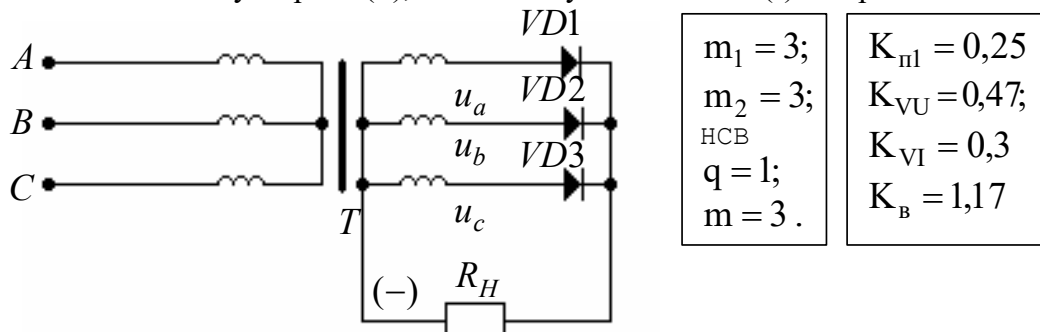
Аналіз електромагнітних процесів у 3-х фазній схемі випрямлення.

Для аналізу електромагнітних процесів у трифазній схемі випрямлення необхідно:

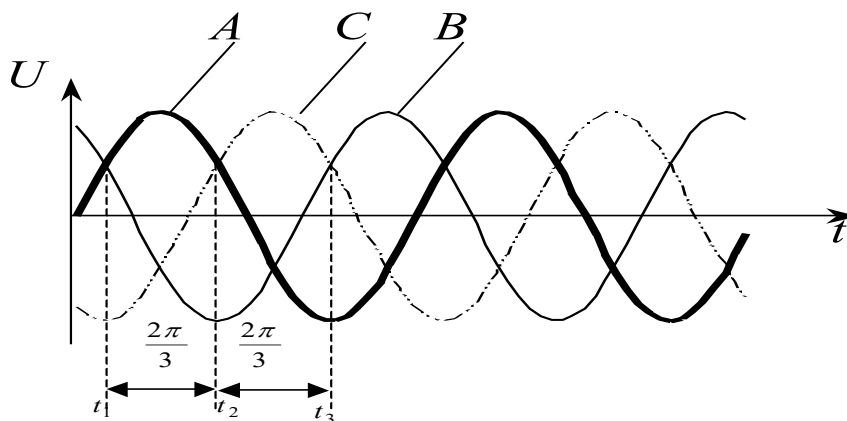
- вибрати для розгляду конкретний момент часу (накласти обмеження $\omega t = \omega t_1 = \text{const}$);
- визначити для розглянутого моменту фази що перетвориться напруги, у котрої найбільшу негативну напругу
- за схемою випрямлення визначити групи умикання вентилів, що входять до складу схеми і сформулювати умову провідності діода в кожній групі.
- За схемою випрямлення визначити конкретні діоди, для яких у даний момент часу виконуються умови провідності, і показати коло протікання Струму навантаження;
- Зняти обмеження по ωt і розглянути процес у динаміку за декілька періодів що перетвориться напруги.

Трифазна Однотактна (нульова) схема випрямлення

Трифазний Випрямляч із виводом нульової точки трансформатора є однонапівперіодним Випрямлячем трифазного Змінного Струму. Він складається із силового трансформатора, у коло вторинних обмоток якого включені 3 діоди. Катоди діодів з'єднані разом. Вивід від загальної точки катодів утворить (+), вивід від нульової точки (-) Випрямляча.



Робота схеми.

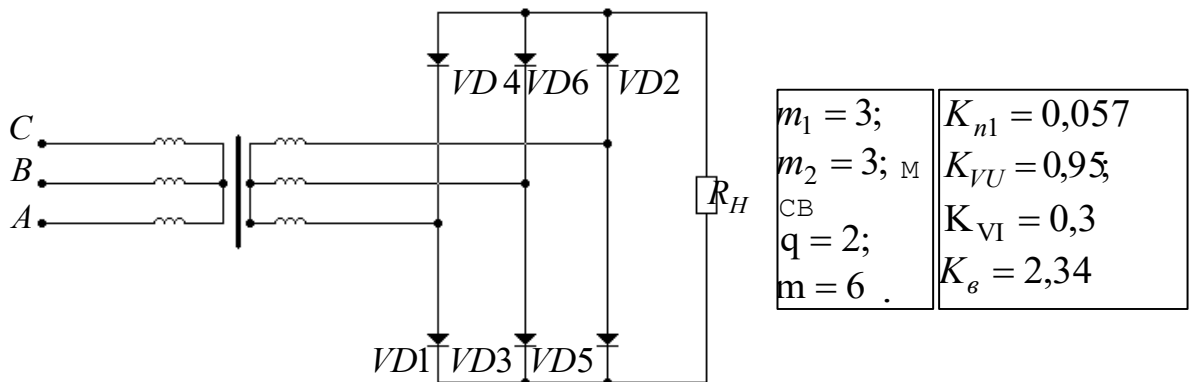


У момент $t_0 = 0$; найбільша напруга має фаза C , а найменше фаза B . Напруга фази $A = 0$. Внаслідок цього напруга на аноді діода $VD3$ будет

найбільшим, а на діоді $VD2$ найменшим, а на аноді $VD1$ буде дорівнює 0. У результаті цього діод $VD3$ буде відкритий, а $VD1, VD2$ будуть закриті. Тік буде текти по колу $C, VD3, R_H$, нульова точка. Тік буде текти через діод $VD3$ до моменту часу t_1 , починаючи з якого найбільший позитивний потенціал буде мати анод діода $VD1$. По цьому з цього моменту починає працювати фаза A і струм потече по колу $A, VD1, R_H$, нульова точка.

У момент часу t_2 діод $VD1$ закриється і відчиниться діод $VD2$. При цьому починає працювати фаза B . Починаючи з моменту часу t_3 знову буде працювати фаза C .

Трифазна двотактна схема випрямлення



У запропонованій схемі в будь-який момент часу до навантаження прикладена лінійна напруга через пару відкритих діодів, на аноді одного з яких потенціал найбільше позитивний, а на катоді іншого найбільше негативний.

8. Тиристорні перетворювачі змінного струму в постійний

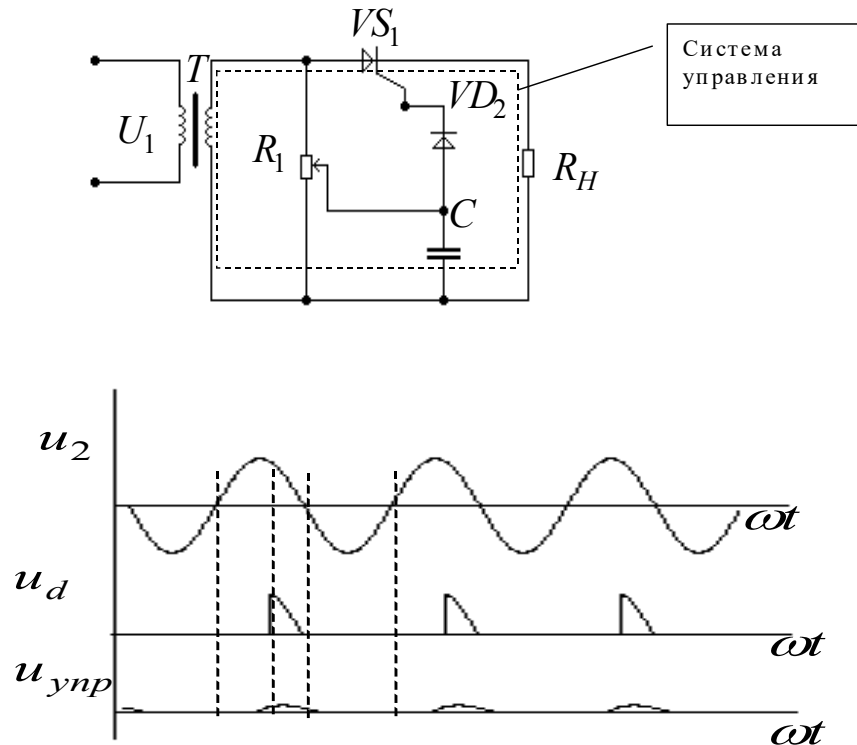
Поява в елементній базі такого елемента як ТИРИСТОР дало змогу додати випрямлячу ще одну істотну властивість – можливість не тільки випрямляти напругу але і регулювати величину напруги на його виході. Іншими словами з'явилася можливість управляти випрямленою напругою безпосередньо за допомогою схем випрямлення.

Схеми випрямлячів, основу яких складають тиристори, ідентичні діодним схемам. Однак, оскільки тиристор це керований ventиль, такі схеми повинні містити і систему керування тиристорами.

Однофазний однонапівперіодний тиристорний випрямляч.

Такий випрямляч являє собою пристрій, що має у своєму складі однофазний трансформатор, у коло вторинної обмотки якого включені послідовно - керований напівпровідниковий ventиль -- тиристор VS_1 , і навантаження R_H .

Забезпечення керування роботою тиристора, у схемі Випрямляча здійснюється системою керування роботою тиристора, що далі будемо називати -- просто система керування (СК).



Основна особливість роботи тиристорних випрямлячів є в тому, що відкриття тиристора відбувається не в точці природної комутації, коли на його аноді з'являється позитивний потенціал, у момент подачі ПРИ ЦЬОМУ на керуючий електрод тиристора позитивного керуючого імпульсу напруги.

Імпульс керування тиристором подається з визначеною затримкою в часу стосовно моменту його природного включення, це здійснюється за рахунок зрушення фаз, між анодною напругою u_2 і напругою u_{ynp} , що подається на керуючий електрод тиристора.

Це зрушення фаз називають кутом керування тиристора.

КУТОМ КЕРУВАННЯ ТИРИСТОРОМ називають зсув фаз між анодною напругою і напругою, поданою на керуючий електрод тиристора. Кут керування відраховується в електричних градусах, від точки природного відкриття діода.

ЛЕКЦІЯ № 7

Тема 7. Зарядні системи для автомобільного електротранспорту План

1. Системи зарядки
 - 1.1. Системи зарядки змінним струмом
 - 1.1.1. Рівень 1
 - 1.1.2. Рівень 2
 - 1.1.3. Рівень 3
 - 1.2. Системи зарядки постійним струмом
 - 1.3. Безпроводні зарядки
2. Класифікація видів роз'ємів для електромобілів Type 1 SAE J1772
 - 1.4. Type 2 (Mennekes)
 - 1.5. GB/T
 - 1.6. CHAdeMO
 - 1.7. CCS Combo (Type 1/Type 2)
 - 1.8. Tesla Supercharger
 - 1.9. Відмінність швидкої, прискореної і швидкісної зарядки

Висновок

Моделі популярних в Україні електромобілів

3. Системи зарядки

Електромобіль може заряджатися як від мережі постійного струму, так і від мережі змінного струму. Існують різні конфігурації струму і напруги для зарядки.

Перші стандарти електричних зарядних систем з'явилися в США. Тому, почнемо з розгляду американської класифікації. У США зарядні станції ділять на три типи – Level 1, 2 і 3. Час, необхідний для повної зарядки, залежить від рівня, що використовується.

Системи зарядки змінним струмом

Почнемо з розгляду системи зарядки змінним струмом. Таку зарядку забезпечує джерело змінного струму, тому для використання даної системи необхідні перетворювачі змінного струму в постійний. Відповідно до рівнів зарядної потужності AC charging можна класифікувати наступним чином:

Type	Description	Average charge time
Level 1	conventional devices similar to household AC chargers	8-12 hours
Level 2	stations that connect to a conventional power grid; speed is about twice as high as the first level	4-6 hours
Level 3	480V DC fast charging with power up to 135 kW	80% in 30-40 min

Рівень 1 (Level 1) – це найповільніша зарядка змінним струмом 12 А або 16 А в залежності від номінальних параметрів кола. Максимальна напруга становить 120 В для США, а максимальна пікова потужність буде дорівнює 1,92 кВт. З їх допомогою можна за годину зарядити електромобіль для поїздки на 20-40 км. Більшість електрокарів заряджаються на такій станції 8-12 годин (залежить від ємності АКБ). З такою швидкістю будь-який автомобіль можна заряджати без спеціальної інфраструктури, просто під'єднавши адаптер в розетку. Ці характеристики роблять цю систему зручною для зарядки продовж ночі.

Рівень 2 (Level 2). Для зарядки рівня 2 використовується пряме підключення до мережі через Electric Vehicle Service Equipment (EVSE) для електромобілів. Максимальна потужність системи становить 240 В, 60 А і 14,4 кВт. Час зарядки буде коливатися в залежності від ємності тягової АКБ і потужності зарядного модуля і становитиме 4-6 годин. Таку систему можна зустріти найчастіше.

Рівень 3 (Level 3). Зарядки третього рівня є найпотужнішими. Напруга дорівнює 300-600 В, струм дорівнює 100 А і більше, а номінальна потужність більш 14,4 кВт. Зарядки третього рівня здатні зарядити автомобільну батарею від 0 до 80% за 30 хвилин.

Подальша зарядка, тобто з 80 % до 100%, на них або взагалі неможлива, або йде зі значно меншою потужністю, як у зарядки 1-2 рівня, щоб не пошкодити акумулятор.

Системи зарядки постійним струмом

Далі давайте розглянемо системи зарядки постійним струмом. Системи постійного струму вимагають спеціальної проводки і установки, вони можуть бути встановлені в гаражах або на зарядних станціях. DC Charging мають більшу потужність, ніж системи змінного струму, і можуть заряджати електромобілі швидше. Їх класифікація також виконується в залежності від рівнів потужності, які вони подають на батарею, і вона приведена на слайді.

DC Charging System	DC Voltage Range (V)	Maximum Current (A)	Power (kW)
Level 1	200–450	≤80	≤36
Level 2	200–450	≤200	≤90
Level 3	200–600	≤400	≤240

В Європі схожа ситуація, тільки використовується інший стандарт, який ділить зарядні станції на 4 різновиди – вже не за рівнем, а за режимами. Даний стандарт (IEC 62196) визначає наступні потужності зарядок:

Mode 1 – напруга 240 В та струм 16 А, те ж саме, що і Level 1, тільки в Європі 220 В, так що потужність в два рази вище. Час підзарядки електрокара з допомогою Mode 1 дорівнює до 12 годин (в залежності від ємності АКБ);

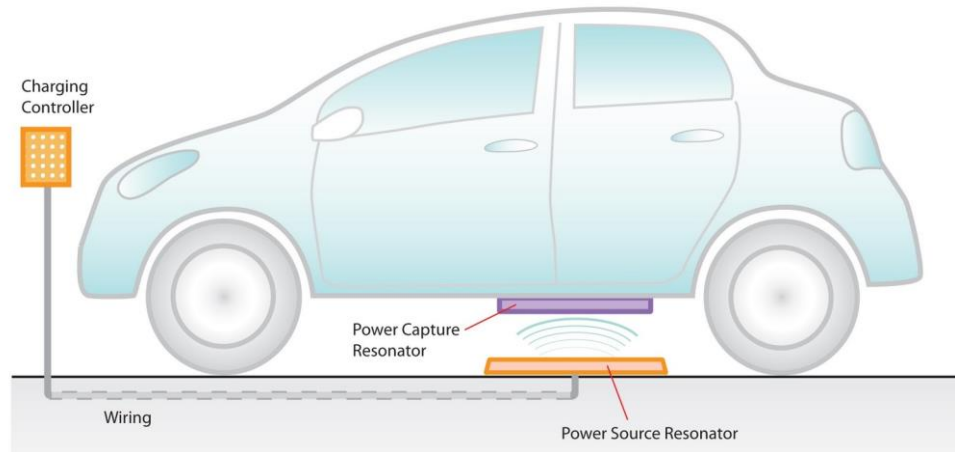
Mode 2 – напруга 240 В та струм 32 А, тобто аналогічно Level 2. Час зарядки стандартного електрокара - до 8 год. ;

Mode 3 – напруга 690 В, 3-фазний змінний струм, 63 А, тобто номінальна потужність дорівнює 43 кВт (частіше встановлюються зарядки на 22 кВт). Сумісний з роз'ємами типу Type 1 (SAE J1772) для однофазних ланцюгів і Type 2 – для трифазних. Такого типу в США немає, це швидка зарядка змінним струмом. Час зарядки може досягати від декількох хвилин до 3-4 годин;

Mode 4 – швидка зарядка постійною напругою, допускає 600 В і струмом до 400 А, тобто максимальна номінальна потужність дорівнює 240 кВт. Час відновлення ємності акумулятора до 80% середнього електрокара дорівнює 30 хв.

Бездротова зарядна система

Також, потрібно відмітити інноваційну систему бездротової зарядки, так як вона викликає високий інтерес завдяки представленим зручностям. Для цієї системи не потрібні різного роду роз'єми і кабелі, які необхідні в провідних зарядних системах. А також перевагою бездротової зарядки є низький ризик виникнення несправностей в брудному або вологому середовищі.



Існують різні технології, які використовуються для забезпечення бездротової зарядки. Вони відрізняються робочою частотою, ефективністю, електромагнітними перешкодами та іншими факторами. До речі кажучи, дуже незручно, коли у кожній компанії своя власна, запатентована система, яка не працює з пристроями іншого виробника.

Найбільш розвинутою можна вважати систему індуктивної зарядки. Дана технологія заснована на принципі магнітного резонансу або індуктивної передачі енергії (IPT). Хоча така зарядка є безконтактною, а не бездротовою, її все одно відносять до типу бездротових.



Такі зарядки вже запускаються у виробництво. Наприклад, концерн БМВ запустили в продаж індукційну зарядну станцію GroundPad. Система має потужність 3,2 кВт й дозволяє повністю зарядити акумуляторну батарею BMW 530e iPerformance за 3,5 год. А в США дослідники з національної лабораторії Oak Ridge представили бездротову систему зарядки потужністю аж в 120 кВт для електричних транспортних засобів. І таких новин з кожним днем з'являється все більше і більше.



4. Класифікація видів роз'ємів для електромобілів

Крім режимів роботи зарядних станцій необхідно знати і типи роз'ємів підключення коннектора, які адаптовані до роботи кожної з них.

В даний час, незважаючи на те, що електромобілі вже серійно випускаються більше 10 років, не існує єдиного стандарту ні зарядних станцій, ні роз'ємів.

Європейські автовиробники частіше використовують зарядні пристрої, такі як Mennekes та CHAdeMO, американські - CCS Combo та SAE J1772. У Китаї також є свої стандарти.



А все тому, що кожен розробник був впевнений, що саме його версія з'єднувача та системи зарядки буде кращою та виграє гонку за технологіями.

Тип роз'єму коннектора Type 1 SAE J1772

5-ти контактний стандартний роз'єм електромобільного коннектора, характерний для більшості електромобілів американського і азіатського виробництва. Підзарядка відбувається за допомогою однофазної мережі змінного струму з максимальною напругою 230 В, силою струму 32 А і граничної потужності в 7,4 кВт.

Список електричних автомобілів, що використовують роз'єм Type 1 (J1772), включає:

1. Audi A3 Sportback E-tron, потужність зарядки до 3,7 кВт;
2. старі версії BMW i3, потужність зарядки до 6,6 кВт;
3. BMW i8, 330e і X5e - потужність зарядки 3,7 кВт;
4. Mercedes Benz C-Class C 350 e та S500 e - потужність зарядки 3,7 кВт;
5. Nissan Leaf 24 і 30, потужність зарядки 6,6 кВт;
6. гібриди Porsche Cayenne та Panamera, потужність зарядки 3,6 кВт.



Type 2 (Mennekes)

Типе 2 або Mennekes – це 7-ми контактний роз'єм характерний в основному для європейських електромобілів. Особливість роз'єму полягає в можливості використовувати однофазну і трифазну мережу, з максимальною напругою 400 В, силою струму 63 А і потужністю 43,5 кВт.

Список електромобілів, що використовують роз'єм Типе 2, включає:

1. Hyundai Ioniq - потужність зарядки 6,6 кВт;
2. Kia Soul EV - потужність зарядки 6,6 кВт;
3. Opel Ampera-e, потужність зарядки 7,2 кВт (однофазне підключення);
4. Renault Zoe потужність зарядки 22 кВт;
5. призначені для Європи Tesla Model S і Model X - потужність зарядки 11 або 16,5 кВт;
6. американські Tesla - потужність зарядки до 120 кВт.

GB/T

GB/T стандарт характерний для автомобілів тільки китайського виробництва. Візуально він схожий на європейський Mennekes, але технічно вони зовсім різні. Існує два типи роз'ємів для даного стандарту один для повільної другий для швидкої зарядки. На даний момент GB/T допускає потужність тільки 237,5 кВт при 950 В і 250 А.

Згідно із заявою Державної енергетичної корпорації Китаю, представленому асоціації CHAdeMO, Китай розробляє нову версію стандарту швидкої зарядки GB/T.

Specification - summary and comparison with other DC charging standards

Spec.	New GB/T 	GB/T 	CHAdeMO 	CCS 	Tesla 
Max. power	1500V x 600A = 900kW	950V x 250A = 237.5kW	1000V x 400A = 400kW	1000V x 400A = 400kW	410V x 330A = 135kW
Number of control pilots	2	0	3 (2+1)	1	1
Communication	CAN (SAE J1939)	CAN (SAE J1939)	CAN (ISO 11898)	PLC (ISO 15118)	CAN (SAE J2411)
12V power supply to EV	No	Optional (A+/-)	Yes (d1)	No	No
V2L/H/G/V	Unknown	Under development	Yes	Under development	No
Coupler lock	Inlet	Connector	Connector	Inlet	Inlet
Availability	PRC	PRC, India	Global	EU, US, South Korea, Australia	Global (Type 2 for EU)
Related standards	IEC 61851-23-1, 23-2(planned)	IEC 61851-23-1	IEC 61851-23-1, 23-2, IEEE 2030.1	IEC 61851-23-1, SAE J1772	None
Notes	Liquid-cooled cable under development	Liquid-cooled cable not available	Liquid-cooled cable under development	Liquid-cooled cable under development	Liquid-cooled cable discontinued

Передбачувані характеристики, описують потужність вище будь-якого стандарту представленого до сих пір - 900 кВт при 1500 В і 600 А

Список електромобілів, що використовують роз'єм GB / T, включає:

1. Zotye E200 EV и Z500 EV;
2. JAC iEV6E;
3. DongFeng E30L;

4. BYD E6.

CHAdemo

CHAdemo розшифровується як «charge de move» (фр. «Зарядись для руху»). CHAdemo – це дво-контактний коннектор постійного струму. Може використовуватися для зарядки більшості японських, американських і ряду європейських електромобілів. Він розрахований для використання на потужних зарядних станціях, що працюють від постійного струму. Його максимальна напруга 500 В, силу струму 125 А і потужність 62,5 кВт. Хоча вже зараз, його характеристики збільшуються.

У 2018 року асоціація опублікувала інформацію про створення нового протоколу CHAdemo 2.0, що дозволяє заряджати електрокари з потужністю до 400 кВт (напруга до 1000 В). Це повинно помітно збільшити швидкість зарядки.

Список електромобілів, що використовують роз'єм CHAdemo, включає:

1. Kia Soul EV - потужність зарядки 50 кВт;
2. Nissan Leaf 1 і 1.1, Nissan e-NV200 - ті ж 50 кВт;
3. Citroen Berlingo - потужність зарядки до 50 кВт;
4. Renault ZOE ZE - потужність зарядки до 43 кВт;
5. Daimler Smart ED і європейська версія старої Tesla Model S - 22 кВт;
6. Mercedes B250E - потужність зарядки 11 кВт.

CCS Combo (Type 1/Type 2)

CCS Combo – це комбінований тип коннектора, який дозволяє нам використовувати як повільні, так і швидкі зарядки. Робота роз'єму можлива завдяки інверторній технології, яка перетворює постійний струм в змінний. Перевагою стандарту є можливість підключення до звичайних мереж. Роз'єми CCS Combo не однакові для Європи, США і Японії: для Європи пропонують роз'єм Combo 2 сумісний з Mennekes, а для США і Японії Combo 1 який пов'язаний з SAE J1772. Зарядка за допомогою CCS Combo 1 підтримує потужність до 80 кВт напруга до 400 В, CCS Combo 2 - до 350 кВт (до 1000 В).

Даний стандарт (потужністю зарядних блоків авто до 50 кВт) підтримується такими авто:

1. Volkswagen e-Golf і ID;
2. KIA Niro;
3. Hyundai eSUV;
4. Daimler EQ;
5. Focus Electric.

Tesla Supercharger

І звичайно ж, окремо необхідно відзначити стандарт Тесла. У автомобілів даної марки використовується свій, несумісний ні з чим роз'єм. Коннектори станції в залежності від регіону використання розрізняються. У США вони мають три роз'єми, в Європі п'ять, що істотно ускладнює експлуатацію імпортованих з Америки в європейські країни електромобілів компанії. Власні суперзарядки Tesla розраховані на потужність до 150 кВт, але поки налаштовані на потужність в 135 кВт.

До речі кажучи, весною 2019 року компанія Tesla представила оновлену версію своєї зарядної станції. Supercharger V3 здатна видавати потужність в 250 кВт. І таким чином, наприклад Model 3 Long Range, за 15 хвилин може додати до пробігу 290 км.

Відмінність швидкої, прискореної і швидкісний зарядки

Стандартні зарядні станції використовують для зарядки акумулятора електромобіля змінний струм.

Якщо використовується однофазна мережа, максимальна напруга може досягати тільки 220 В, а потужність не перевищує 7,4 кВт.

Однак таких показників мало для сучасного електромобіля із запасом ходу не менше 200 км.

Заряджати його для поїздки доведеться всю ніч, а вдень час очікування складе не менше 5 годин. Тому для зарядки застосовується трифазна мережа.

Електромережа з напругою 380 В дозволяє зарядити акумулятор електромобіля в кілька разів швидше. При однаковій з однофазними мережами силі струму в 16 А потужність зарядки підвищується до 10,5 кВт, максимальне значення - 43,5 (50) кВт.

Час зарядки від змінного струму - не більш 6 год. навіть для автомобілів зі значним запасом ходу. Однак таку зарядку все одно не можна назвати «швидкісною». Вона тільки **«прискорена»**, і підходить тільки в тих випадках, коли у водія електрокара є кілька годин часу, або автомобіль підключений до мережі в домашніх умовах.

По-справжньому швидкісна зарядка виконується за допомогою постійного струму. Для цього використовуються спеціальні батареї, встановлені на зарядних станціях.

Відсутність необхідності перетворювати змінний струм електромережі в постійний акумулятора електромобіля дозволяє скоротити процес в кілька разів.

Замість 10-12 год. або навіть 5-6 год. на відновлення ємності батареї електрокара витрачається всього 30-40 хв.

Висновки

Електромобіль може заряджатися як від змінного, так і від постійного струму. У першому випадку розділяють 3 типу АС зарядок, які різняться характеристиками потужності. DC charging вважаються швидкісними зарядками так як мають більшу потужність ніж AC charging. Їх також класифікують в залежності від рівнів потужності, які вони подають на батарею. Відсутність необхідності перетворювати змінний струм електромережі в постійний струм акумулятора електромобіля дозволяє скоротити процес зарядки в кілька разів.

Але швидкісні зарядки мають величезний недолік, через який технологія не настільки поширена як «повільні» і «прискорені» зарядки. Батарея, яку постійно заряджають таким способом, швидше виходить з ладу. Тому рекомендується використовувати швидкісну технологію тільки періодично, чергуючи її зі звичайною підзарядкою від мережі.

Моделі популярних в Україні електромобілів

Модель	Разєм	Максимальна потужність зарядки, кВт
BMW i3	Type 2 CCS Combo 2	50
Opel Ampera-e	Type 2 CCS Combo 2	50
Fiat 500e	Type 2	22
Ford Focus Electric	Type 2 CCS Combo 2	50

Hyundai Ioniq Electric	Type 2 CCS Combo 2	50
Jaguar I-Pace	Type 2 CCS Combo 2	50
Kia Soul EV	Type 1 CHAdeMO	50
Mercedes-Benz B-Class Electric	Type 2	22
Mitsubishi i-MiEV	Type 1	6,6
Nissan e-NV200	Type 1 Type 2	22
Nissan Leaf	Type 1; Type 2 CCS Combo 2	50
Renault Kangoo Z.E.	Type 2	22
Renault ZOE	Type 2	22
Smart ForTwo Electric Drive	Type 2	22
Tesla Model S	Type 2 Tesla Supercharger	120
Tesla Model X	Type 2 Tesla Supercharger	120
Volkswagen e-Golf	Type 2 CCS Combo 2	50

Українські мережі електрозаправок

Назва мережі	Разєм	Потужність, кВт
STRUM	Type 2	22
	CHAdeMO	50
	CCS Combo	50
Go To-U	Type 2	22
TOKA	Type 2	22

	CHAdEMO	50
	CCS Combo	50
AutoEnterprise	Type 1	7,2
	Type 2	22
	CHAdEMO	50
VLS Energy	Type 2	22
	CHAdEMO	50
	CCS Combo	50

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.



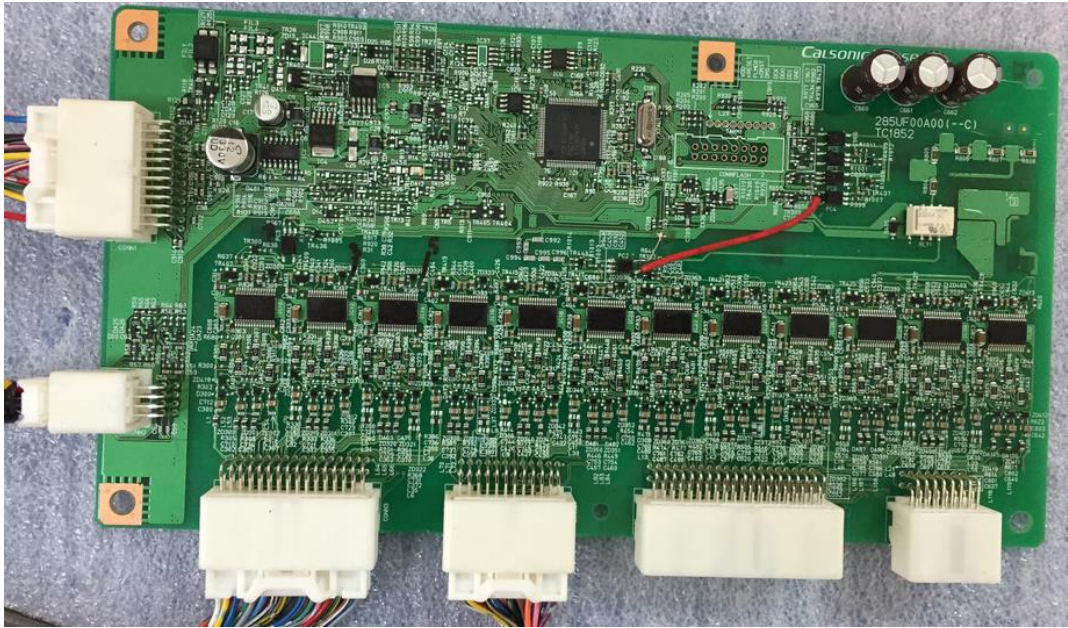


Рис. 8.1 - Система управління батареєю (BMS) електромобіля Nissan Leaf

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

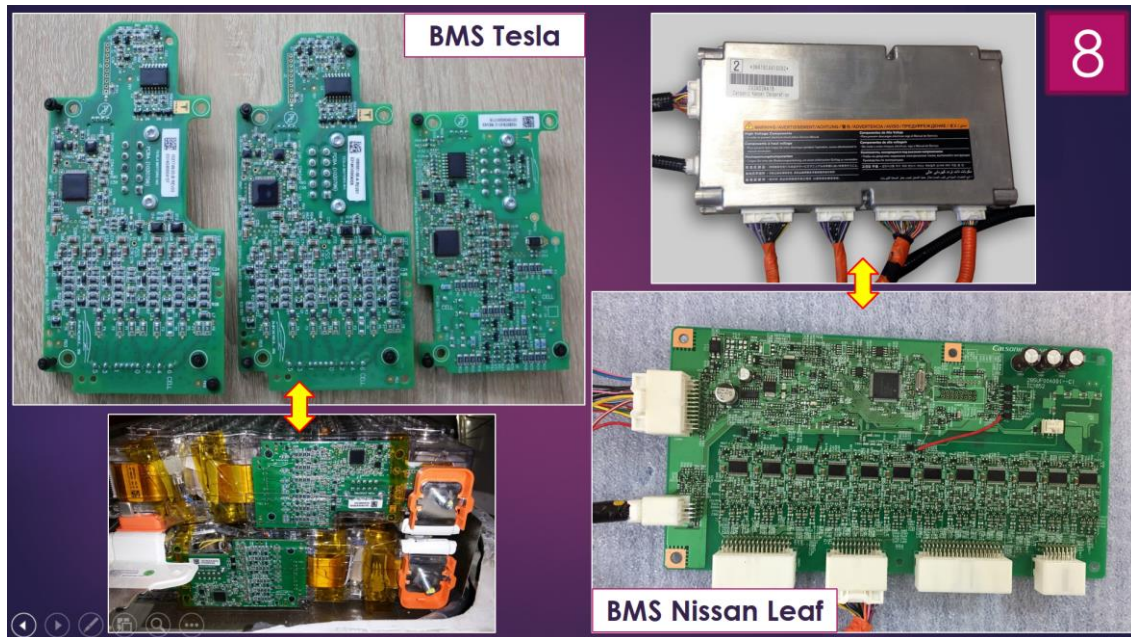
5. Останньою п'ятою функцією BMS є балансування. Це те про що ми вже говорили.

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

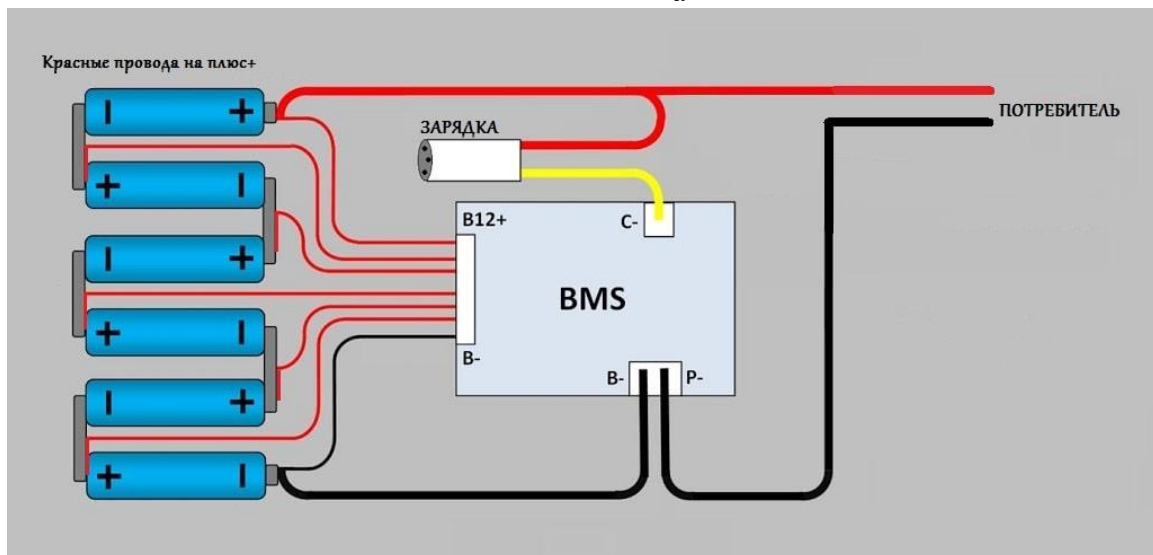
З метою захисту плати BMS від негативного впливу вологи і пилу її покривають спеціальним епоксидним герметиком. Не завжди акумулятор має тільки одну систему управління і балансування. Іноді замість однієї плати BMS, використовується відразу кілька пов'язаних між собою регулювальних електронних плат, 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 запасасться) 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: $I = 15 \text{ А}$, $U = 110 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 1,4 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-20). Характеристики: $I = 16 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 3,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-25). Характеристики: $I = 20 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 4,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (LCS-30). Характеристики: $I = 24 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 5,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-40). Характеристики: $I = 32 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 7,8 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-50). Характеристики: $I = 40 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 9,6 \text{ кВт}$;
- Level 2 (HCS-60). Характеристики: $I = 48 \text{ А}$, $U = 240 \text{ В}$, $P_{\text{max}} = 11,5 \text{ кВт}$;

Таблиця 8.1 – Час заряду електромобілів Nissan Leaf

№	Потужність зарядного блоку	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:

$$P_{3-\phi} = 380 \cdot 16 \cdot 1,72 (\cos \varphi) = 10\,458 \text{ Вт} = 10,46 \text{ кВт.}$$

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

$$\begin{aligned} 24 / 10,46 &= 2,29 \text{ год;} \\ 30 / 10,46 &= 2,9 \text{ год.} \end{aligned}$$

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 однотарифним. Цей облік характеризується тим, що протягом восьми годин (з 23:00 до 07:00) вартість електроенергії менша ніж при однотарифному 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:

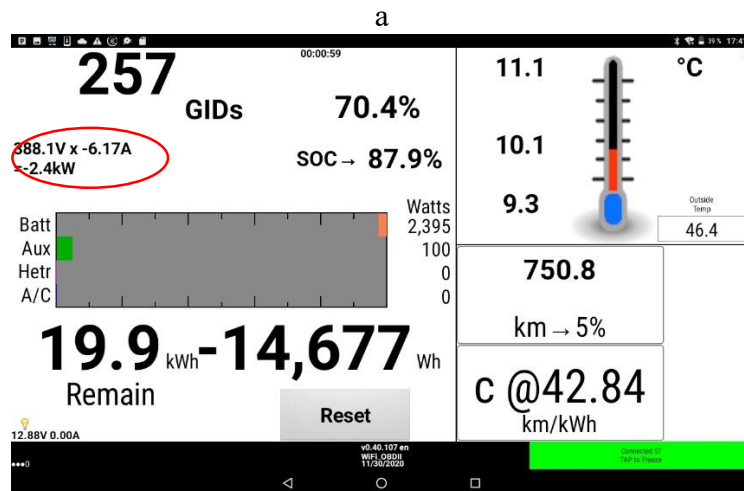
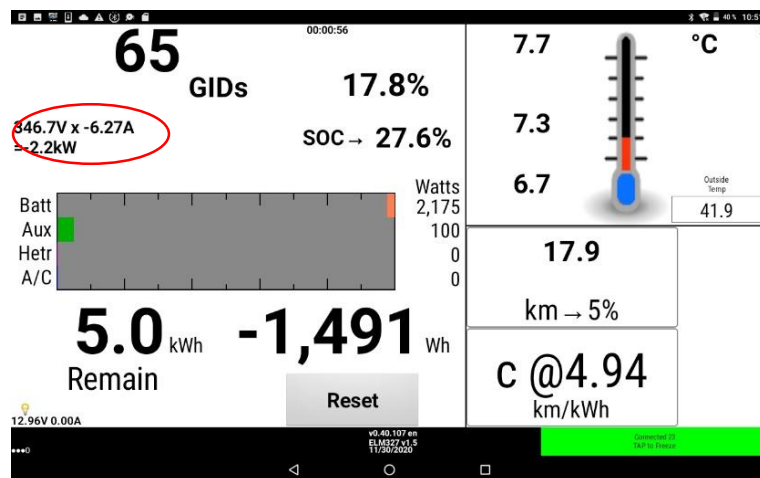
$$50,4 - 30,24 = 20,16 \text{ грн.}$$

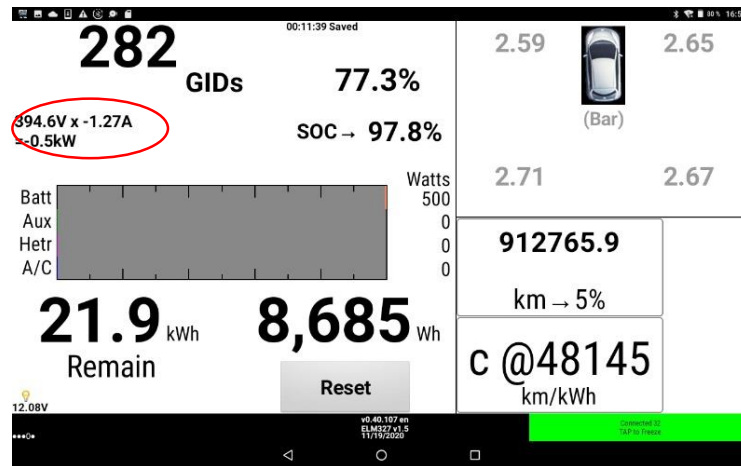
Отже, встановлення багатотарифного лічильника призводить до значної економії витрат на заряд електромобіля.

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,a).





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 $0...5^{\circ}\text{C}$), 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.

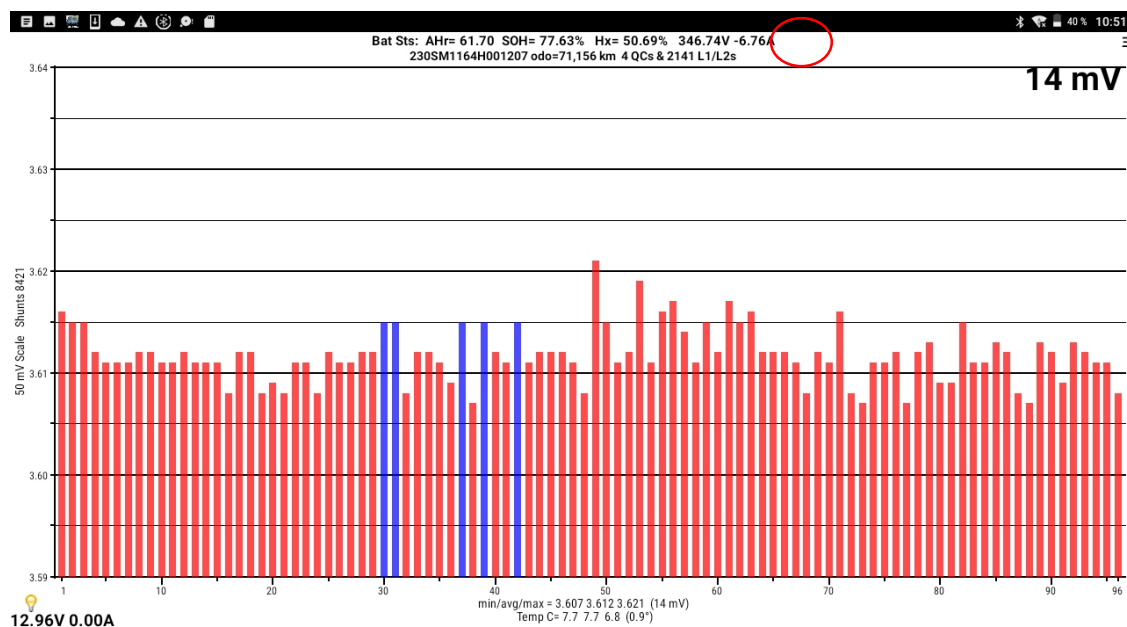


Рисунок 8.5 – Зображення першого екрану програми Leaf Spy