

# **МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

## **«Електронні системи керування транспортними засобами»**

для студентів спеціальності 133

«Галузеве машинобудування»

(«Колісні та гусеничні транспортні засоби»),

усіх форм навчання

### **Частина 6 - змістовий модуль 2.**

Автомобільні електронні системи

**2020**

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 6 - змістовий модуль 2. Автомобільні електронні системи / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 96 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;  
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;  
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;  
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;  
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено  
на засіданні кафедри «Автомобілі»  
Протокол № 8  
від « 30 » червня 2020.

Рекомендовано для видання  
НМК Транспортного факультету  
Протокол № 88  
від « 31 » серпня 2020.

**ЗМІСТ**

## Частина 6

Вступ .....	474
Тематичний план лекційних занять .....	475
Лекція № 14. Електронні системи шасі.....	478
Лекція № 15. Гібридні та електричні автомобілі .....	522
Рекомендована література .....	562
Базова .....	562
Допоміжна.....	562
Інформаційні ресурси .....	566

## ВСТУП

Стрімке вдосконалення систем автомобільної електроніки та систем упорскування палива, спрямованих на значне зниження шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобіля, все більше застосування електроніки в роботі допоміжних систем транспортних засобів, вдосконалення електронного обладнання кузовних систем та шасі автомобіля, змусили авторів цього курсу повністю переглянути і переробити розроблену раніше структуру дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами».

В даному курсі лекцій в основному викладаються загальні принципи устрою електричних і електронних систем, властиві любим моделям автомобілів різних виробників. Особливості конструкції вузлів і агрегатів конкретних моделей автомобілів наведені лише для ілюстрації. Поряд з описом сучасних систем електрообладнання та електронних систем, в курсі лекцій приділено увагу і більш старим електронним пристроям, оскільки сотні тисяч старих моделей автомобілів все ще знаходяться в експлуатації в Україні.

Оскільки даний курс лекцій «Електронні системи керування транспортними засобами» являє собою спеціалізований курс, необхідний для практичної діяльності майбутнього інженера-механіка з освітньою спеціалізацією «Колісні та гусеничні транспортні засоби», в ньому розглянуті як загальні питання і відомості про електронне обладнання транспортних засобів, так і питання їхньої подальшої діагностики і технічного обслуговування під час експлуатації.

Окрему увагу приділено гібридним автомобілям і електромобілям: розглянуті методи та шляхи оснащення транспортних засобів сучасними системами тягового електроприводу, системами автоматичного управління гібридних систем з послідовною, паралельною і комбінованою енергетичними установками. Розглянуті методи підвищення ефективності використання гібридних автомобілів і підвищення екологічності, з урахуванням досягнень вітчизняної та світової науки в галузі машинобудування.

Враховуючи вищесказане, слід зазначити що для вивчення даної дисципліни необхідні глибокі знання загальноосвітніх інженерних дисциплін, таких, як фізика, електротехніка, електроніка, інформатика, а також знання устрою двигуна внутрішнього згоряння і процесів, що відбуваються в двигуні.

## ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об'єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» складається з шести частин, і розроблений відповідно до:

**Робоча програма з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами»** для студентів за напрямом підготовки 6.050503 – «Машинобудування», спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 23 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами», найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції. Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

**Методичні вказівки з вивчення дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами»** та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби»), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 62 с.

**Змістовий модуль 2.** Автомобільні мехатронні системи.

### **Тема 8. Електронні системи керування динамікою автомобіля (2 год.)**

Антиблокувальна система гальм (ABS): вимоги, загальний опис

системи, умови роботи. Керування гальмами автомобіля з ABS. Анти-пробуксовочна система. Система курсової стійкості. Система керування динамікою автомобіля. Система Старт-Стоп. Система екстреного гальмування. Система виявлення великих тварин. Система допомоги при спуску. Система допомоги при підйомі. Адаптивний круїз-контроль. Система допомоги руху по смузі. Система інтелектуального регулювання швидкості.

### **Тема 9. Системи освітлення (2 год.)**

Принципи освітлення. Лампи. Рефлектори фари. Корекція фар. Регулювання променя фари. Схеми освітлення. Газорозрядні і світлодіодні фари. Освітлення за допомогою світлодіодів. Ксенонове освітлення (Hella). Бароптичні системи освітлення. Інфрачервоні фари. Освітлення від єдиного джерела світла. Лазерні та матричні фари.

### **Тема 10. Електронні системи безпеки (2 год.)**

Система контролю стану водія. Система Alcolock. Превентивна система безпеки. Система комунікації між автомобілями. Система гальмування після зіткнення. Натягувачі ременів безпеки. Подушки безпеки: центральна, фронтальні, бічні, головні, колінні. Активні підголівники. Аварійний розмикач акумуляторної батареї. Система захисту пішоходів. Подушка безпеки для пішоходів. Система захисту при з'їзді з дороги. Система екстреного виклику аварійних служб при дорожньо-транспортній пригоді. Система порятунку з затонулого автомобіля.

### **Тема 11. Протиугінні системи (2 год.)**

Види систем захисту від угону. Основні типи електронних протиугінних систем. Базова система безпеки. Комплексна система сигналізації. Імобілайзер. Устрій автосигналізації. Центральний замок і електричні склопідйомники вікон. Схема блокування дверей. Робота електричного склопідйомача. Система стеження за автомобілем.

### **Тема 12. Електронні системи інформування водія (2 год.)**

Прилади й датчики системи інформування водія. Проекційний дисплей. Система виявлення пішоходів. Система попередження про

велосипедистів. Система наскрізного бачення. Паркувальна система. Система кругового огляду. Система автоматичного паркування. Система маневрування з причепом. Система допомоги при перестроюванні. Автомобільна система нічного бачення. Система розпізнавання дорожніх знаків. Система виявлення можливих дорожніх пробок. Система інформування про світлофори. Система передбачення дорожніх умов. Автомобільна навігаційна система.

### **Тема 13. Електронні системи керування мікрокліматом в салоні автомобіля (2 год.)**

Розвиток систем обігріву і вентиляції автомобілів. Типова система вентиляції та обігріву салону автомобіля. Система обігріву - двигун з водяним охолодженням. Мотори повітрянагрівача. Електронний контроль системи обігріву. Основи кондиціонування повітря: терміни та визначення, принцип роботи системи, автоматичне керування температурою. Інші системи обігріву: сидіння, скло, простір для ніг.

### **Тема 14. Електронні системи шасі (2 год.)**

Активна підвіска: датчики, приводи і функціонування системи. Системи повного приводу: 4Motion, quattro, 4Matic, xDrive. Система адаптації до дорожніх умов. Електронна система керування автоматичною коробкою передач. Функція Tiptronic. Система запобігання ненавмисного прискорення. Роботизована коробка передач DSG. Коробка передач Easytronic. Електронна система керування варіатором. Варіатор Multitronic. Система електронного блокування диференціала. Система контролю тиску в шинах.

### **Тема 15. Гібридні та електричні автомобілі (2 год.)**

Типи гібридних приводів. Газотурбінний гібрид. Визначення автомобіля з електричним приводом. Батареї електромобіля. Приводні мотори. Мотори змінного струму. Асинхронний мотор. Синхронний мотор з постійним збудженням. Електронно-керовані мотори. Система електромобіля на батареї натрій-сірка. Індуктивна система заряду батарей. Майбутнє електромобілів.

## ЛЕКЦІЯ № 14. ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ШАСІ

**План лекції.** Активна підвіска: датчики, приводи і функціонування системи. Системи повного приводу: 4Motion, quattro, 4Matic, xDrive. Система адаптації до дорожніх умов. Електронна система керування автоматичною коробкою передач. Функція Tiptronic. Система запобігання ненавмисного прискорення. Роботизована коробка передач DSG. Коробка передач Easytronic. Електронна система керування варіатором. Варіатор Multitronic. Система електронного блокування диференціала. Система контролю тиску в шинах.

**Література:** [3], [4], [7], [9] - [11], [16], [17], [23] - [25], [39].

### **Активна підвіска.**

Активна підвіска, як і багато інших інновацій, була створена у світі автомобільних перегонів. Тепер вона поступово стає все більш популярною при виробництві звичайних транспортних засобів. Цікаво відмітити те, що в міру того як деякі команди, які приймають участь у перегонах «Формула-1», вдосконалювали підвіску, правила змінилися (1993-1994 рр.), щоб запобігти її використанню!

Звичайні системи підвіски - це завжди компроміс між м'якими пружинами для комфорту й більш жорстким підпружинюванням для кращої стійкості руху на поворотах. Система підвіски повинна виконувати чотири головні функції:

- поглинати удари від вибоїв;
- справлятися з «пірнанням» носової частини при гальмуванні;
- запобігати перекиданню під час поворотів;
- регулювати руху кузова.

Це означає, що деякі функції повинні бути прийняті компромісними, щоб в більшій мірі виконувалися інші.

### **Функціонування підвіски.**

Активна підвіска дозволяє одержати кращу комбінацію усіх функцій. Активна підвіска виходить при заміні звичайних пружин на гідравлічні вузли подвійної дії. Ними управляє блок керування (ECU), який одержує сигнали від різних датчиків. Тиск масла понад 150 бар створюється насосом і подається до гідравлічних вузлів. Клапан із сервоприводом контролює тиск масла, який є, можливо, самим критичним параметром системи.

Головні вигоди від застосування активної підвіски полягають у наступному;

- більший комфорт при русі;
- краща керованість;
- підвищена безпека;
- передбачувана поведінка транспортного засобу в різних умовах;
- відсутність різниці в поведінці порожньої та навантаженої машини на дорозі.

### **Датчики, приводи і функціонування активної підвіски.**

Щоб максимально ефективно управляти гідравлічними вузлами, ECU повинен «знати» певну інформацію. Вона надходить у систему від датчиків, розташованих у різних частинах транспортного засобу.

**Датчик навантаження** використовується, щоб визначити фактичне навантаження на кожний гідравлічний вузол.

**Зсув і вертикальне прискорення.** В якості цього датчика можуть використовуватися прості змінні резистори або більш точні й чутливі лінійні датчики тили LVDT.

**Бічне й позовженє прискорення.** Прискорення може бути визначене за допомогою маятникового датчика, що використовує тензодатчики, пов'язані з масою, або пристрої, подібні датчика ударів у двигуні.

**Датчик заносу.** Відхилення від курсу може бути визначене по бічному прискоренню, якщо датчик встановлений у передній або задній частині транспортного засобу.

**Положення керма.** Крім положення керма, швидкість зміни напрямку руху визначається по сигналу від датчика обертання. Цей пристрій може бути датчиком на основі променя світла з детектором або будь-чим подібним. Якщо швидкість зміни положення керма виявиться за певним порогом, то система перейде у режим більш жорсткого регулювання підвіски.

**Швидкість транспортного засобу** вимірюється за допомогою стандартного датчика, який використовується для спідометра.

**Датчик положення дросельного клапана** аналогічний існуючим потенціометрам. Він показує намір водія прискорити або сповільнити рух, дозволяючи підвісці перейти в більш жорсткий режим, якщо для цього передбачений відповідний механізм.

**Вибір режиму підвіски водієм.** У системі передбачений вими-

кач, що дозволяє водієві вибрати м'які або тверді параметри настроювання системи. Але навіть якщо буде обрано м'яке регулювання, то система перейде в більш жорсткий режим при певних експлуатаційних умовах. На схемі компонування системи підвіски (рис. 14.1), показано спрощене зображення гідравлічного вузла.

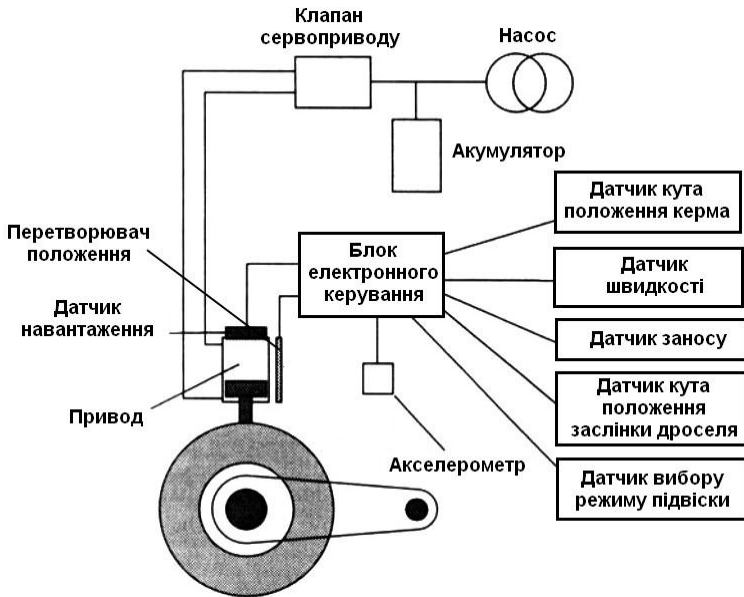


Рисунок 14.1 - Загальне компонування системи активної підвіски й використовувані датчики

По суті, це гідравлічний домкрат, який може забезпечувати дуже високий тиск масла, щоб подавати його до верхньої або нижньої камери.

Функціонування всієї системи відбувається в такий спосіб. У момент, коли колесо зустрічає на дорозі опуклість, виникає вертикальне прискорення нагору й збільшення вертикального навантаження. Ця інформація подається до ECU, який обчислює ідеальне зміщення колеса. Сигнал керування від ECU надходить до сервоклапанів, які керують положенням головних гідравлічних вузлів. Оскільки цей процес може відбуватися сотні раз за секунду, колесо може точно йти за контуром дорожньої поверхні. Це зм'якшує дію небажаних наван-

тажень на кузов автомобіля.

Завдяки аналізу інформації від інших датчиків, наприклад бічного датчика прискорення (дані про рух на повороті) і поздовжнього датчика (інформація про поздовжнє гальмування або прискорення), приводи можуть перемішатися так, щоб завжди забезпечувати максимальну стійкість.

Активна підвіска забезпечує комфортний рух, і в цьому запорука її майбутнього. Тому що ціни на комплектуючі падають, система скоро стане надбанням практично всіх транспортних засобів.

### **Системи повного приводу.**

Трансмісії повнопривідних автомобілів мають різні конструкції. В сукупності вони утворюють системи повного приводу. Розрізняють такі види систем повного приводу: постійного підключення, приводи що підключаються автоматично і ті що підключаються вручну.

Різні види систем повного приводу мають, як правило, різне призначення і різні системи керування. Разом з тим можна виділити наступні переваги даних систем, що визначають область їх застосування:

- ефективне використання потужності двигуна;
- краща керованість і курсова стійкість на слизькому покритті;
- підвищена прохідність автомобіля.

### ***Система постійного повного приводу.***

Система постійного повного приводу (інше найменування - система Full Time, в перекладі «весь час») забезпечує постійну передачу крутного моменту на всі колеса автомобіля.

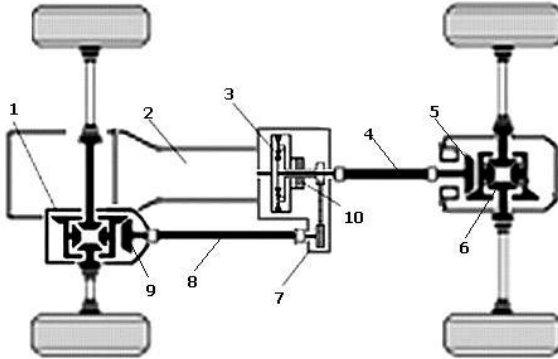
Система включає конструктивні елементи, характерні для повнопривідної трансмісії, а саме: зчеплення, коробку передач, роздавальну коробку, карданні передачі, головні передачі, міжколісні диференціали задньої і передньої осі, а також півосі коліс.

Постійний повний привід застосовується як на автомобілях з компоновкою заднього компонуванням (поздовжнє розташування двигуна і коробки передач), так і на автомобілях з передньоприводним компонуванням (поперечне розташування двигуна і коробки передач). Такі системи відрізняються в основному по конструкції роздавальної коробки і карданних передач.

Відомими системами постійного повного приводу є система Quattro від Audi, xDrive від BMW, 4Matic від Mercedes.

Зчеплення забезпечує короткочасне від'єднання двигуна від тра-

нсмисії при перемиканні передач, а також запобігання елементів трансмісії від перевантажень. Коробка передач служить для зміни крутного моменту, швидкості і напрямку руху автомобіля. В автоматичній коробці передач функцію зчеплення виконує гідротрансформатор.



1 - міжколісний диференціал передньої осі; 2 - коробка передач;  
3 - міжосьовий диференціал; 4 - карданна передача задньої осі;  
5 - головна передача задньої осі; 6 - міжколісний диференціал задньої осі;  
7 - роздавальна коробка; 8 - карданна передача передньої осі;  
9 - головна передача передньої осі; 10 - віскомуфта

Рисунок 14.2 - Схема системи постійного повного приводу

Роздавальна коробка призначена для розподілу крутного моменту по осях автомобіля і його збільшення при необхідності. Сучасна роздавальна коробка включає ланцюгову передачу (зубчасту передачу), що забезпечує передачу крутного моменту на передню вісь, знижувальну передачу у вигляді планетарного редуктора (в окремих конструкціях) і міжосьовий диференціал.

Наявність міжосьового диференціала є відмінною рисою роздавальної коробки системи постійного повного приводу. Для повної реалізації повнопривідних можливостей в конструкції системи передбачається блокування міжосьового диференціала.

Блокування диференціала може здійснюватися автоматично або вручну. Сучасними конструкціями автоматичного блокування міжосьового диференціала є віскомуфта, диференціал Torsen, багатодискова фрикційна муфта.

Ручне (примусове) блокування диференціала проводиться воді-

ем за допомогою механічного, пневматичного, електричного або гідравлічного приводу. На деяких конструкціях роздавальної коробки передбачені функції як автоматичного, так і ручного блокування міжосьового диференціала.

Карданні передачі забезпечують передачу крутного моменту від вторинних валів роздавальної коробки на вали головних передач. Головна передача слугує для збільшення крутного моменту і його передачі на півосі коліс.

Міжколісний диференціал забезпечує розподіл крутного моменту між ведучими колесами і дозволяє напівосям обертатися з різними кутовими швидкостями. У системах повного приводу міжколісний диференціал застосовується на передній і задній осі.

Для реалізації повноприводних можливостей один або обидва диференціали мають можливість блокування. Блокування міжколісного диференціала може здійснюватися вручну або автоматично (віскомуфта, диференціал Torsen). На сучасних автомобілях застосовується електронне блокування диференціала.

#### ***Принцип роботи системи постійного повного приводу.***

Крутний момент від двигуна передається на коробку передач і далі на роздавальну коробку. У роздавальній коробці момент розподіляється по осях. При необхідності водієм може бути включена знижуюча передача.

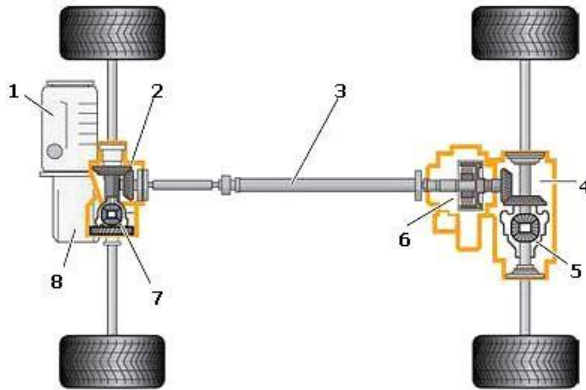
Далі крутний момент через карданні вали передається на головну передачу і міжосьовий диференціал кожної з осей. Від диференціала крутний момент через півосі передається на приводні колеса. При прослизанні коліс однієї з осей автоматично або примусово проводиться блокування міжосьового і міжколісного диференціалів.

#### ***Система повного приводу, що підключається автоматично.***

Система повного приводу, що підключається автоматично (інше найменування - система **On demand**, в перекладі «на вимогу») є перспективним напрямком розвитку повного приводу легкових автомобілів. Дана система забезпечує підключення коліс однієї з осей в разі прослизання коліс іншої осі. У звичайних умовах експлуатації автомобіль є передньо-або задньоприводним.

Практично всі провідні автовиробники мають в своєму модельному ряді автомобілі з повним приводом що підключається автоматично. Відомою системою повного приводу, що підключається автоматично є 4Motion від Volkswagen.

Конструкція системи повного приводу, що підключається автоматично аналогічна постійному повному приводу. Виняток становить наявність муфти підключення задньої осі.



1 - двигун; 2 - роздавальна коробка; 3 - карданна передача;  
4 - головна передача задньої осі; 5 - міжколісний диференціал задньої осі; 6 - муфта підключення задньої осі (муфта Haldex);  
7 - міжколісний диференціал передньої осі; 8 - коробка передач

Рисунок 14.3 - Схема системи повного приводу що підключається автоматично (на прикладі системи 4Motion)

Роздавальна коробка в системі повного приводу що автоматично підключається є як правило конічним редуктором. Знижуюча передача і міжосьовий диференціал відсутні.

В якості муфти підключення задньої осі використовуються віскомуфта або електронно-керована фрикційна муфта. Відомою фрикційною муфтою є муфта Haldex, яка використовується в системі повного приводу 4Motion концерну Volkswagen.

***Принцип роботи системи повного приводу, що підключається автоматично.***

Крутний момент від двигуна, через зчеплення, коробку передач, головну передачу і диференціал передається на передню вісь автомобіля. Крутний момент через роздавальну коробку і карданні вали також передається на фрикційну муфту. У нормальному положенні фрикційна муфта має мінімальне стиснення, при якому на задню вісь передається до 10 % крутного моменту. При прослизанні коліс передньої

осі по команді електронного блоку керування спрацьовує фрикційна муфта і передає крутний момент на задню вісь. Величина переданого на задню вісь крутного моменту може змінюватися в певних межах.

***Система повного приводу, що підключається вручну.***

Система повного приводу, що підключається вручну (інше найменування - система Part Time, в перекладі «частковий час») в даний час практично не застосовується, тому що є низько ефективною. Разом з тим, саме ця система забезпечує жорсткий зв'язок передньої і задньої осі, передачу крутного моменту в співвідношенні 50:50 і тому є по справжньому позашляховою.

Устрій системи повного приводу, що підключається вручну в цілому аналогічний системі постійного повного приводу. Основні відмінності - відсутність міжосьового диференціала і можливість підключення переднього моста в роздавальній коробці. Необхідно відзначити, що в ряді конструкцій постійного повного приводу використовується функція відключення переднього моста. Правда в даному випадку відключення і підключення це не одне і те ж.

***Система повного приводу 4Motion.***

Вона відноситься до т.зв. систем повного приводу, що підключається автоматично. У даній системі крутний момент двигуна розподіляється по осях в залежності від дорожньої ситуації. Система 4Motion встановлюється на автомобілі концерну Volkswagen з 1998 року. Назва 4Motion є зареєстрованим товарним знаком.

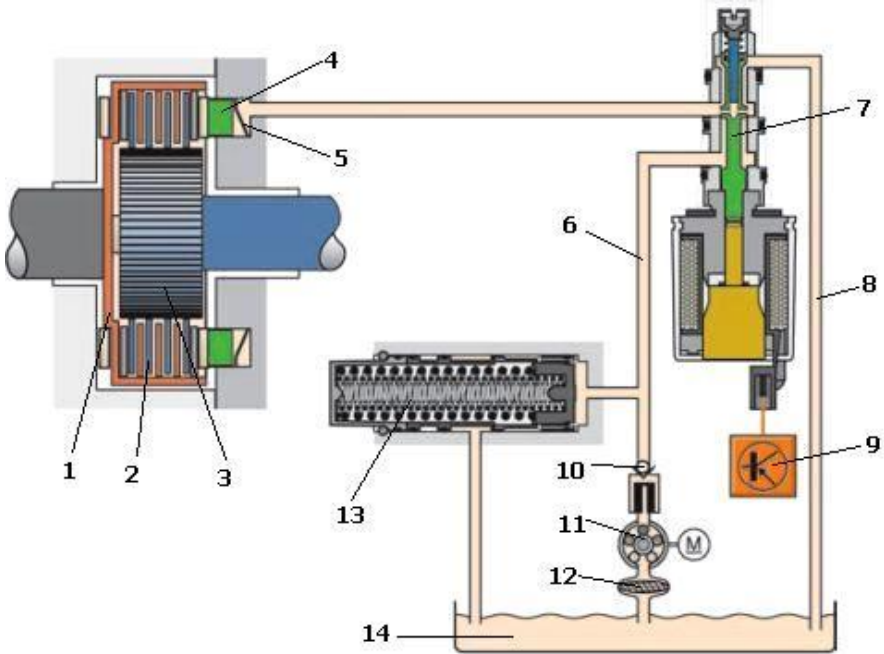
Система повного приводу 4Motion включає диференціал передньої осі в коробці передач, роздавальну коробку, карданну передачу приводу задньої осі, багатодискову фрикційну муфту, головну передачу і диференціал задньої осі. Диференціал передньої осі забезпечує передачу крутного моменту від коробки передач до передніх ведучих коліс. Корпус диференціала передньої осі з'єднаний з роздавальною коробкою порожнистим валом.

Роздавальна коробка являє собою конічну передачу, за допомогою якої крутний момент передається під кутом 90 град. Карданна передача приводу задньої осі з'єднує роздавальну коробку і фрикційну муфту. Карданна передача складається з двох валів, з'єднаних шарніром рівних кутових швидкостей. До роздавальної коробки і фрикційної муфти вали приєднуються за допомогою пружних муфт. Задній карданний вал має проміжну опору.

В системі повного приводу 4Motion застосовується багатодис-

кова фрикційна муфта Haldex. Муфта забезпечує керовану передачу крутного моменту (величина переданого крутного моменту визначається ступенем замикання муфти) від передньої до задньої осі автомобіля. Муфта Haldex вбудована в картер диференціала задньої осі.

В даний час в системі повного приводу 4Motion використовується муфта Haldex четвертого покоління (автомобілі Volkswagen Tiguan), яка має більш просту конструкцію в порівнянні з попередніми. До цього встановлювалися муфти першого і другого поколінь (автомобілі Volkswagen Golf IV, V - опціонально, Volkswagen Transporter). Конструктивно муфта Haldex включає пакет фрикційних дисків, насос, акумулятор тиску і систему керування.



- 1 - барабан; 2 - пакет фрикційних дисків; 3 - маточина; 4 - поршень;  
 5 - тарілчаста пружина; 6 - магістраль подачі; 7 - клапан управління;  
 8 - зворотна магістраль; 9 - блок керування; 10 - зворотній клапан;  
 11 - насос; 12 - масляний фільтр;  
 13 - акумулятор тиску; 14 - масляний бак

Рисунок 14.4 - Схема фрикційної муфти Haldex

Пакет фрикційних дисків являє собою набір з фрикційних і сталевих дисків. Фрикційні диски мають внутрішнє зачеплення з маточиною. Сталеві диски мають зовнішнє зачеплення з барабаном. Кількість дисків визначає величину переданого крутного моменту (більше дисків - більше момент). Диски стискаються поршнями.

Муфта Haldex має електронне керування, що включає вхідні датчики, блок керування і виконавчі пристрої. Вхідним датчиком системи керування є датчик температури масла.

Блок керування перетворює вхідну інформацію в керуючі впливи на виконавчий пристрій. Крім датчика температури масла електронний блок керування використовує інформацію від блоку керування двигуном, блоку керування системи ABS, одержувану по CAN-шині.

Виконавчим пристроєм системи керування є клапан керування, який регулює тиск стиснення фрикційних дисків від 0 до 100 % максимальної величини. Величина тиску визначається положенням клапана. Насос і акумулятор тиску забезпечують підтримку тиску масла в системі на рівні 3 МПа.

#### ***Принцип роботи системи.***

Робота системи 4Motion визначається алгоритмом роботи муфти Haldex, в якому можна виділити такі характерні режими:

- початок руху;
- початок руху з пробуксовкою;
- рух з постійною швидкістю;
- рух з пробуксовкою;
- гальмування.

При русанні з місця і розгоні автомобіля клапан керування закритий, диски муфти максимально стислі. На задні колеса передається максимальний крутний момент. Якщо рух починається з пробуксовкою обох передніх коліс, клапан керування закривається, фрикційні диски муфти стискаються. Крутний момент повністю передається на задню вісь. При пробуксовці одного з передніх коліс в роботу системи спочатку включається електронне блокування диференціала.

При русі з постійною швидкістю клапан відкривається, а диски стискаються в залежності від умов руху. На задню вісь крутний момент передається в певних (незначних) межах.

Пробуксовка в русі автомобіля визначається на підставі сигналів від блоку керування системи ABS. При цьому клапан відкривається в залежності від умов руху (яка вісь і які колеса буксують). При гальму-

ванні клапан керування відкритий, фрикційні диски муфти повністю розтиснені. Крутний момент на задню вісь не передається.

### **Система повного приводу quattro.**

Система повного приводу quattro є системою постійного повного приводу, в якій крутний момент постійно передається на всі колеса автомобіля. З 1980 року назва quattro використовується автовиробником Audi для позначення системи повного приводу своїх автомобілів і є зареєстрованим товарним знаком. Відмінною особливістю системи quattro є поздовжнє розташування двигуна і елементів трансмісії, яке характерно для більшості автомобілів Audi.

Незважаючи на відмінності в конструкції систем конкретних автомобілів, система quattro включає наступні традиційні елементи повнопривідної трансмісії: коробку передач, роздавальну коробку, карданну передачу, головну передачу і задній міжколісний диференціал, вал приводу передньої осі, головну передачу і передній міжколісний диференціал на кожній осі.



1 - коробка передач; 2 - роздавальна коробка; 3 - карданна передача;  
4 - головна передача і задній міжколісний диференціал; 5 - вал приводу передньої осі; 6 - головна передача і передній міжколісний диференціал

Рисунок 14.5 - Схема системи повного приводу Quattro

У трансмісії quattro може встановлюватися як механічна коробка передач, так і коробка-автомат.

Роздавальна коробка безпосередньо приєднана до коробки передач. Конструктивно вона включає міжосьовий диференціал, що розподіляє крутний момент на передню і задню осі. Корпус диференціала має механічне поєднання з коробкою передач. Розподіл крутного моменту на осі в залежності від конструкції роздавальної коробки може здійснюватися безпосередньо через приводні вали або окрему зубчасту передачу.

В якості міжосьового диференціала в системі повного приводу quattro використовувалися і використовуються:

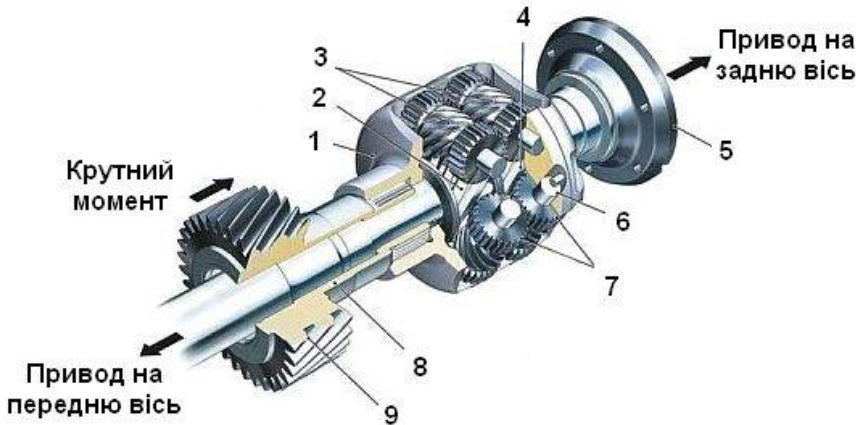
- з 1981 року - вільний міжосьовий диференціал з механічним блокуванням;
- з 1988 року - самоблокований симетричний диференціал Torsen з можливістю перерозподілу крутного моменту на вісь з кращим зчепленням до 80 %. Розташування сателітів перпендикулярно до приводних валів (Torsen T-1);
- з 2007 року - самоблокований несиметричний диференціал Torsen з розподілом крутного моменту по осях в стандартному положенні 40:60 і з можливістю перерозподілу крутного моменту на вісь з кращим зчепленням до 70 % - на передню вісь і до 80 % - на задню вісь. Розташування сателітів паралельно до приводних валів (Torsen T-3);
- з 2010 року - самоблокований несиметричний диференціал з коронними шестернями з розподілом крутного моменту по осях в стандартному положенні 40:60 і з можливістю перерозподілу крутного моменту на вісь з кращим зчепленням до 70 % - на передню вісь і до 85 % - на задню вісь (Audi RS5).

Роздавальна коробка автомобіля Audi Allroad додатково оснащується пониженою передачею. Передача крутного моменту на задню вісь здійснюється за допомогою карданної передачі, що складається з двох валів, трьох шарнірів рівних кутових швидкостей і однієї проміжної опори.

Головна передача і задній міжколісний диференціал виконані в окремому картері. В різний час в системі quattro використовувалися такі конструкції задніх диференціалів:

- з 1981 року - вільний диференціал з механічним блокуванням (ручним або електропневматичним);
- з 1988 року - самоблокований симетричний диференціал Torsen (Audi V8);

- з 1995 року - вільний диференціал з електронним блокуванням.



1 - корпус диференціала; 2 - сонячна шестерня приводу передньої осі; 3 - черв'ячні шестерні; 4 - сонячна шестерня приводу задньої осі; 5 - фланець вала приводу задньої осі; 6 - вісь черв'ячної шестерні; 7 - сателіти; 8 - порожнистий вал; 9 - привідна шестерня

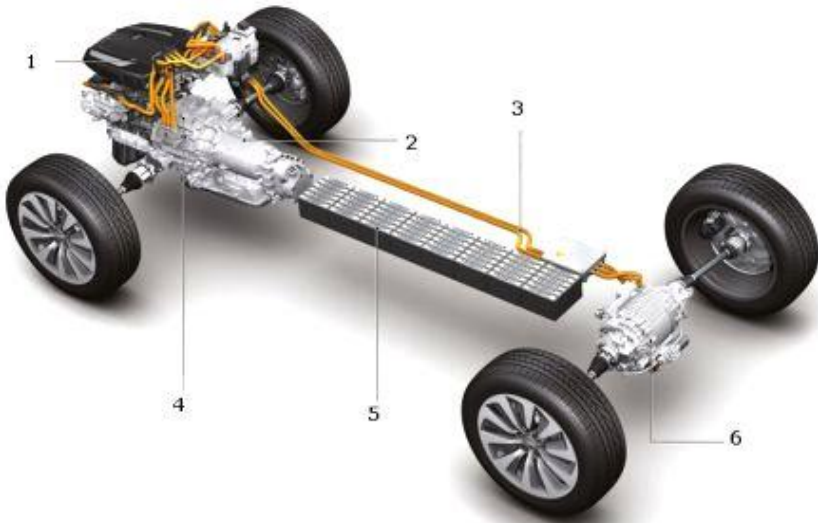
Рисунок 14.6 - Схема диференціала Torsen

Вал приводу передньої осі забезпечує передачу крутного моменту від роздавальної коробки до головної передачі і міжколісним диференціалом передньої осі. Він поміщений в окремий кожух. На останніх моделях автомобілів Audi, оснащених системою quattro, коробка передач, роздавальна коробка, вал приводу, головна передача і диференціал передньої осі об'єднані в одному корпусі.

В якості переднього міжколісного диференціала використовується вільний диференціал, до якого з 1995 року додана функція електронного блокування диференціала.

На автомобілях Audi з поперечним розташуванням двигуна (Audi A3 / S3, Audi TT, Audi Q3) використовується система повного приводу, що підключається автоматично, аналогічна системі 4Motion з фрикційною муфтою Haldex.

Перспективна версія системи повного приводу від Audi заснована на використанні гібридної силової установки і носить назву E-tron quattro. Дану систему встановлюють на серійні автомобілі з 2014 року.



1 - двигун внутрішнього згоряння; 2 - коробка передач;  
3 - кабель високої напруги; 4 - електродвигун; 5 - високовольтна акумуляторна батарея; 6 - задній міст з електричним приводом

Рисунок 14.7 - Схема системи повного приводу E-tron quattro

Конструктивно система E-tron quattro включає на додаток до двигуна внутрішнього згоряння і коробки передач два електродвигуни - потужністю 33 кВт на передній осі і 60 кВт - на задній. При цьому задня вісь має тільки електричний привід. Живлення електродвигунів здійснюється від літій-іонної акумуляторної батареї, встановленої в центральному тунелі автомобіля.

#### **Система повного приводу 4Matic.**

Система повного приводу 4Matic є розробкою Mercedes-Benz і встановлюється на деякі моделі легкових автомобілів. Назва 4Matic - зареєстрований товарний знак. Трансмісія автомобілів з системою 4Matic має тільки автоматичну коробку передач.

Система повного приводу 4Matic останнього покоління включає автоматичну коробку передач, роздавальну коробку, карданні передачі приводу передньої і задньої осі, головну передачу і міжколійний диференціал передньої і задньої осі, приводні вали з шарнірами рівних кутових швидкостей, півосі задніх коліс.

Таблиця 14.1 - Історія системи повного приводу 4Matic

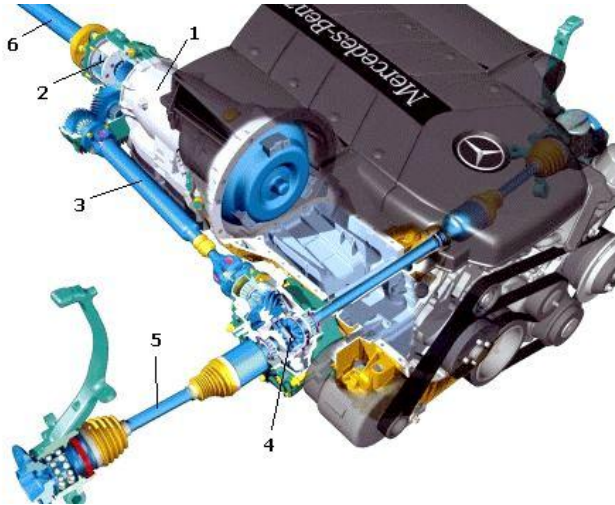
Покоління, автомобілі	Характеристика приводу
1 покоління (з 1986 року) Е-клас (тип 124)	повний привод підключається автоматично, механічні блокування міжосьового і заднього міжколісного диференціалів, керування приводом за допомогою двох гідравлічних муфт, при спрацьовуванні системи ABS відключення повного приводу
2 покоління (з 1997 року) Е-клас (тип 210)	постійний повний привод, міжосьовий і міжколісний диференціали вільного типу, блокування міжколісних диференціалів симулюється за допомогою системи контролю тягового зусилля
3 покоління (з 2002 року) С-клас (тип 203) Е-клас (тип 211) S-клас (тип 220)	постійний повний привод, міжосьовий і міжколісний диференціали вільного типу, контроль за рухом за допомогою системи курсової стійкості, що включає систему контролю тягового зусилля

Центральним конструктивним елементом системи 4Matic є роздавальна коробка, яка здійснює безступінчастий розподіл крутного моменту по осях автомобіля. Роздавальна коробка об'єднує здвоєний планетарний редуктор, циліндричні шестерні, а також приводні вали.

Планетарний редуктор виконує в коробці функцію несиметричного міжосьового диференціала. Передача крутного моменту відбувається таким чином, що на передню вісь припадає 40 % його номінальної величини, на задню вісь - 60 % (на деяких моделях це співвідношення 45:55).

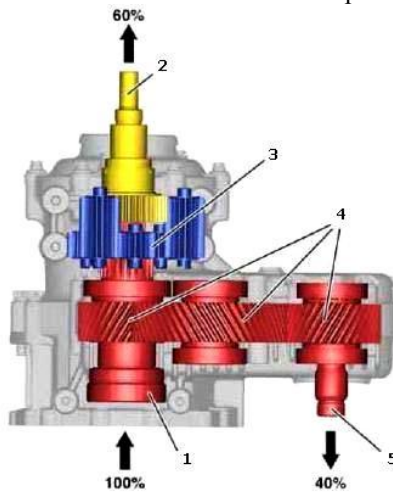
Приводний вал з'єднаний з водило планетарного редуктора. Вал приводу задньої осі обертається від сонячної шестірні великого діаметру. Вал приводу передньої осі порожнистий, з'єднаний з сонячною шестірнею малого діаметру, з іншого боку за допомогою циліндричних шестерень з'єднаний з карданною передачею передньої осі.

В системі 4Matic не передбачено блокувань міжосьового і міжколісних диференціалів. Автоматичний контроль стійкості при русі автомобіля забезпечує система курсової стійкості ESP, яка включає систему контролю тягового зусилля ETS, антипробуксовочну систему ASR і антиблокувальну систему гальм ABS.



- 1 - автоматична коробка передач; 2 - роздавальна коробка; 3 - карданна передача приводу передньої осі; 4 - головна передача і передній міжколісний диференціал; 5 - приводні вали з шарнірами рівних кутових швидкостей; 6 - карданна передача приводу задньої осі

Рисунок 14.8 - Схема системи повного приводу 4Matic



- 1 - приводний вал; 2 - вал приводу задньої осі; 3 - планетарний редуктор; 4 - циліндричні шестерні; 5 - вал приводу передньої осі

Рисунок 14.9 - Схема роздавальної коробки системи 4Matic

Система ETS (Electric Traction System) за конструкцією аналогічна електронному блокуванню диференціала. При спрацьовуванні система симулює блокування міжколісних диференціалів шляхом пригальмовування коліс які буксують. При цьому крутний момент на колесі з кращим зчепленням збільшується, чим досягається впевнений розгін з місця, прискорення на дорогах з поганим покриттям, тобто, збалансоване керування автомобілем в складних умовах.

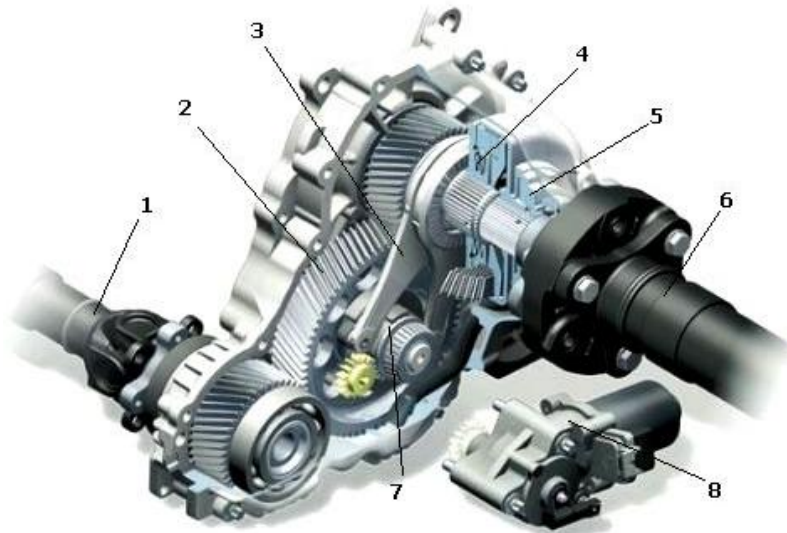
### **Система повного приводу xDrive.**

Система повного приводу xDrive є розробкою концерну BMW і відноситься до систем постійного повного приводу. Система забезпечує безступінчастий, безперервний і змінний розподіл крутного моменту між передньою і задньою віссю в залежності від умов руху.

Таблиця 14.2 - Історія розвитку повного приводу від BMW

<b>Покоління</b>	<b>Характеристика</b>
1 покоління, з 1985 року	розподіл крутного моменту між осями при нормальному русі в співвідношенні 37:63 (37 % - на передню вісь, 63 % - на задню вісь), блокування міжосьового диференціала, заднього міжколісного диференціала за допомогою в'язкістної муфти (віскомуфти)
2 покоління, з 1991 року	розподіл крутного моменту між осями при нормальному русі в співвідношенні 36:64, блокування міжосьового диференціала за допомогою багатодискової муфти з електромагнітним керуванням, блокування заднього міжколісного диференціала за допомогою багатодискової муфти з електрогідравлічним керуванням, можливість перерозподілу крутного моменту між осями (колесами) в межах від 0 до 100 %
3 покоління, з 1999 року	розподіл крутного моменту між осями при нормальному русі в співвідношенні 38:62, міжосьовий і міжколісного диференціали вільного типу, електронне блокування міжколісних диференціалів, взаємодія з системою динамічного контролю курсової стійкості
4 покоління, з 2003 року	розподіл крутного моменту між осями при нормальному русі в співвідношенні 40:60, функцію міжосьового диференціала виконує багатодискова фрикційна муфта з електронним керуванням, можливість перерозподілу крутного моменту між осями в межах від 0 до 100 %, електронне блокування міжколісних диференціалів, взаємодія з системою динамічного контролю курсової стійкості

В даний час система xDrive встановлюється на спортивних позашляховиках (SAV, Sports Activity Vehicle) X1, X3, X5, X6 і легкових автомобілях 3-й, 5-й і 7-ї серій.



- 1 - приводний вал передньої осі; 2 - зубчата передача; 3 - важіль;  
 4 - фрикційна муфта; 5 - масляний насос; 6 - приводний вал задньої осі;  
 7 - ексцентрик; 8 - електродвигун зі знижуючим редуктором

Рисунок 14.10 - Схема роздавальної коробки системи xDrive

Система повного приводу xDrive в своїй основі використовує традиційну для BMW задньоприводну схему трансмісії. Розподіл крутного моменту між осями здійснюється за допомогою роздавальної коробки, яка представляє собою зубчасту передачу приводу передньої осі, керовану фрикційною муфтою.

У трансмісії спортивних позашляховиків замість зубчастої передачі використовується ланцюгова передача. Система xDrive інтегрована з системою динамічного контролю курсової стійкості DSC (Dynamic Stability Control).

Крім електронного блокування диференціала система DSC об'єднує систему контролю тяги DTC (Dynamic Traction Control), систему допомоги при спуску HDC (Hill Descent Control) та ін. Взаємодія систем xDrive і DSC здійснюється за допомогою системи інтегрального

керування ходовою частиною ICM (Integrated Chassis Management). Система ICM також забезпечує зв'язку з системою активного рульового керування AFS (Active Front Steering).

***Принцип роботи системи.***

У роботі системи повного приводу xDrive можна виділити кілька характерних режимів, які визначаються алгоритмом спрацьовування фрикційної муфти:

- зрушення з місця;
- проходження поворотів з надлишковою поворотністю;
- проходження поворотів з недостатньою поворотністю;
- рух на слизькому покритті;
- парковка.

При рушанні з місця в нормальних умовах фрикційна муфта замкнута, крутний момент розподіляється по осях в співвідношенні 40:60, чим досягається максимальна тяга при розгоні. При досягненні швидкості 20 км/год розподіл крутного моменту між осями здійснюється в залежності від дорожніх умов.

При проходженні поворотів з надлишковою поворотністю (задню вісь заносить до зовнішньої сторони повороту) фрикційна муфта замикається з більшою силою, а на передню вісь направляється більший крутний момент.

При необхідності в роботу включається система DSC, стабілізуюча рух автомобіля шляхом пригальмовування коліс. При проходженні поворотів з недостатньою поворотністю (передня вісь зноситься до зовнішньої сторони повороту) фрикційна муфта розмикається, а на задню вісь направляється до 100 % крутного моменту. При необхідності в роботу включається система DSC.

При русі на слизькому покритті (лід, сніг, вода) пробуксовка окремих коліс запобігається за рахунок блокування фрикційної муфти і, при необхідності, електронного міжколісного блокування системи DSC. Під час паркування фрикційна муфта повністю розмикається, автомобіль стає задньоприводним, чим досягається зниження навантажень в трансмісії і рульовому управлінні.

**Система адаптації до дорожніх умов.**

Ідея об'єднання повного приводу з іншими електронними системами реалізована в системі адаптації до дорожніх умов (інша назва - система допомоги руху по бездоріжжю). Дана система дозволяє найкращим чином використовувати можливості автомобіля при русі в

різних дорожніх умовах і по бездоріжжю. Завдання водія зводиться лише до правильного визначення характеру покриття і включенню відповідного режиму, а система сама забезпечить оптимальне зчеплення, керуваність і стійкість автомобіля.

Родоначальником механізмів адаптації до дорожніх умов є система Terrain Response, яка встановлюється на автомобілі Land Rover з 2005 року. Іншими різновидами системи допомоги руху по бездоріжжю є:

- Selec Terrain від Jeep;
- Terrain Management System від Ford;
- Multi-Terrain Select від Toyota;
- X-Mode від Subaru.

У різних системах адаптації до дорожніх умов реалізовано спільний підхід до роботи. Деякі системи використовують навіть однакові режими руху. Виняток із загального списку становить система X-Mode, в якій допомога руху здійснюється тільки в автоматичному режимі.



Рисунок 14.11 - Система адаптації до дорожніх умов

Конструкція і принцип роботи системи адаптації до дорожніх умов розглянуті на прикладі Terrain Response. Система Terrain Response як будь-яка електронна система керування включає вхідні пристрої, блок керування і виконавчі пристрої.

Вхідними пристроями виступають органи керування системою. Залежно від моделі автомобіля для керування використовуються перемикачі на центральній консолі або поворотний селектор на панелі між передніми сидіннями. З їх допомогою вибирається певний режим руху.

Таблиця 14.3 - Режими руху в системі Terrain Response

<b>Найменування режиму</b>	<b>Призначення режиму</b>
Основна програма	Рух по сухому твердому дорожньому покриттю
Трава, гравій, сніг	Рух по слизьким, сипучим і пухким поверхням
Бруд, колія	Рух по бруду, ям, м'яким і нерівних поверхнях
Пісок	Рух по поверхнях, покритим сухим піском або товстим шаром гравію (снігу)
Камені, малий хід (не на всіх моделях)	Обережне рух по кам'янистому основі, в тому числі перетин річок убрід
Автоматичний (не на всіх моделях)	Рух по будь-яких дорогах і бездоріжжю

Крім перерахованих режимів на автомобілі Range Rover Evoque використовується динамічний режим, що передбачає активний рух по сухим дорогах з хорошим покриттям. Даний режим оптимізує тягові характеристики автомобіля, підлаштовуючи їх під стиль водіння, а не тип поверхні, тому до системи адаптації відношення не має.

Сигнали від органів керування подаються в електронний блок керування, де активується відповідна програма, яка формує керуючі впливу на підлеглі електронні системи. Власних виконавчих пристроїв система Terrain Response не має, а впливає на електронні блоки керування різних систем автомобіля, оптимізуючи їх роботу під конкретні умови руху.

Підконтрольними Terrain Response системами є: система керування двигуном, автоматична коробка передач, система повного приводу, пневматична підвіска, антипробуксовочна система, система курсової стійкості. За допомогою системи керування двигуном для одного ходу і інтенсивності натискання електронної педалі акселера-

тора реалізується різний крутний момент. Відповідно до обраної програми руху змінюється алгоритм роботи автоматичної коробки передач, забезпечуючи максимальну потужність двигуна і не допускаючи пробуксовки коліс.

Система Terrain Response використовується з різними схемами повного приводу: класичної - з роздавальною коробкою, міжосьовим і міжколісним диференціалами, автоматичною - з дисковою електрогідравлічною муфтою. У кожному разі блокуванням диференціалів (імітацією блокування) досягається ефективний розподіл крутного моменту між осями і окремими колесами. При наявності понижувальної передачі в роздавальній коробці використовується понижуючий діапазон передач.

Пневматична підвіска автоматично змінює висоту кузова. У антипробуксовочній системі використовуються різні порогові значення пробуксовки, що дозволяє поліпшити зчеплення коліс з дорогою. При використанні спеціальних режимів знижується вплив на автомобіль системи курсової стійкості і не потрібне її відключення.

Інформація про роботу системи і вибрані режими руху виводиться у вигляді індикаторів на комбінації приладів і (або) текстових і графічних повідомлень на інформаційному дисплеї.

### **Коробка передач.**

Коробка передач є важливим конструктивним елементом трансмісії автомобіля і призначена для зміни крутного моменту, швидкості і напрямку руху автомобіля, а також тривалого від'єднання двигуна від трансмісії. Залежно від принципу дії розрізняють ступінчасті, безступінчасті і комбіновані коробки передач. Тип коробки передач багато в чому визначає тип трансмісії автомобіля. У ступінчастих коробках передач крутний момент змінюється ступінчато. До них відносяться механічна і роботизована коробки передач.

**Механічна коробка передач** (скорочене найменування - МКПП, повсякденна назва - механіка) являє собою багатоступінчастий циліндричний редуктор, в якому передбачено ручне перемикання передач. Залежно від числа ступенів розрізняють чотириступінчасту, п'ятиступінчасту, шестиступінчасту, семиступінчасту і більше коробки передач.

Основними перевагами механічної коробки передач є простота конструкції, надійність, можливість ручного керування в усіх режимах руху. Завдяки цим якостям МКПП є найпоширенішим типом коробки передач. Разом з тим, все більше споживачів в останні роки вибирають

коробки з автоматичним керуванням.

**Роботизована коробка передач** (інше найменування - автоматизована коробка передач, повсякденна назва - робот) являє собою механічну коробку передач, в якій автоматизовані функції виключення зчеплення і перемикання передач. Сучасні роботи мають подвійне зчеплення, яке забезпечує передачу крутного моменту без розриву потоку потужності.

Застосування роботизованої коробки передач з подвійним зчепленням забезпечує зниження витрати палива, високу розгінну динаміку. Завдяки даним якостям, популярність роботів стрімко зростає. В даний час роботизовані коробки передач встановлюються як на бюджетні автомобілі (Volkswagen, Ford), так і автомобілі преміум класу (Bentley, Porsche). Відомими конструкціями роботизованих коробок передач є коробки передач DSG (Direct Shift Gearbox), SMG (Sequential M Gearbox), Ізітронік.

До безступінчастих коробок передач відноситься варіатор (повсякденна назва - варіаторна коробка передач). На відміну від ступінчастих коробок, передавальне число у варіатора змінюється плавно. Це досягається за рахунок гідравлічного або механічного перетворення крутного моменту.

Завдяки своїй конструкції варіатор забезпечує оптимальні динамічні характеристики автомобіля. З іншого боку варіаторна коробка передач має обмеження по величині передавального крутного моменту. Окремі конструкції мають нарікання в плані надійності та ресурсу. Варіатори використовують, в основному японські автомобільні компанії (Nissan, Honda, Subaru), з європейських - Audi. Відомими конструкціями варіаторів є Мультитронік, Екстронік.

Комбінований принцип дії використовується в автоматичній коробці перемикання передач (скорочене найменування - АКПП, повсякденна назва - коробка-автомат). Класична автоматична коробка передач включає гідротрансформатор (замінює зчеплення і забезпечує безступінчасте регулювання крутного моменту) і механічну коробку передач (зазвичай планетарний редуктор). Сучасні автомати мають сім (7G-Тронік) і навіть дев'ять ступенів передач.

Коробка-автомат забезпечує плавне перемикання передач і високу надійність роботи. При цьому АКПП має підвищену витрату палива і низьку розгінну динаміку. У ряді конструкцій автоматичної коробки передач передбачена імітація ручного перемикання передач.

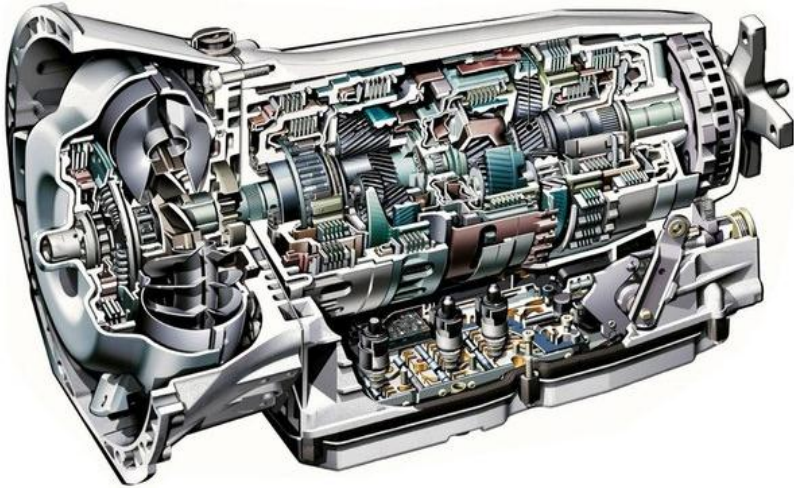


Рисунок 14.12 - Класична автоматична коробка передач

В даний час терміном «автоматична коробка передач» позначаються не тільки класична гідротрансформаторна коробка, а також роботизована коробка передач і варіатор. Всі вони мають електронне керування. Різновидом автоматичної коробки передач є т.зв. адаптивна коробка передач, що враховує стиль водіння конкретної людини.

#### **Автоматична коробка передач.**

Автоматична коробка передач (скорочена назва АКПП, повсякденна назва - коробка-автомат) є найпоширенішим пристроєм зміни крутного моменту, що застосовуються в автоматичній трансмісії автомобіля. Традиційно автоматичною називають гідромеханічну коробку передач. Автоматична коробка передач складається з гідротрансформатора, механічної коробки передач і системи керування.

На коробках-автоматах, що встановлюються на передньоприводні легкові автомобілі, в конструкцію включені головна передача і диференціал. Гідротрансформатор призначений для передачі і зміни крутного моменту від двигуна до механічної коробки передач, а також зменшення вібрацій. Конструкція гідротрансформатора включає насосне, турбінне і реакторне колеса, блокувочну муфту, муфту вільного ходу. Гідротрансформатор поміщений у власний корпус. Насосне колесо сполучене з колінчастим валом двигуна. Турбінне колесо пов'язане з механічною коробкою передач.



Рисунок 14.13 - Гідротрансформатор

Між насосним і турбінним колесами розташовується нерухоме реакторне колесо. Всі колеса гідротрансформатора оснащені лопатями певної форми, між якими передбачені канали для проходження робочої рідини. Блокувальна муфта служить для блокування гідротрансформатора в певних режимах роботи автомобіля.

Муфта вільного ходу (інша назва - обгінна муфта) забезпечує обертання жорстко закріпленого реакторного колеса в протилежну сторону.

Всі конструктивні елементи гідротрансформатора розташовані в корпусі, який заповнений спеціальною робочою рідиною ATF (Automatic Transmissions Fluid). Робота гідротрансформатора здійснюється по замкнутому циклу. Від насосного колеса потік рідини передається на турбінне колесо, далі на реакторне колесо.

За рахунок конструкції лопатей реактора швидкість потоку посилюється. Потік направляється на насосне колесо і змушує його обертатися швидше, тим самим збільшується величина крутного моменту. Максимальну величину крутного моменту гідротрансформатор розвиває на мінімальній швидкості. Зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала двигуна, кутові швидкості насосного та турбінного коліс вирівнюються, а потік рідини змінює свій напрямок.

При цьому спрацьовує муфта вільного ходу і реакторне колесо починає обертатися. Гідротрансформатор працює в режимі гідромуфти (передає тільки крутний момент). З подальшим зростанням швидкості відбувається блокування гідротрансформатора, при якій замикається блокуюча муфта, і передача крутного моменту від двигуна до механічної коробки передач відбувається безпосередньо. Гідротрансформатор блокується практично на всіх передачах.

В сучасних автоматичних коробках є режим з прослизуючою муфтою блокування гідротрансформатора, який передую повному блокуванню. Режим реалізується за певних умов (швидкість, навантаження) під час розгону автомобіля і дозволяє знизити витрату палива, за-

безпечити комфорт при перемиканні передач. Механічна коробка передач в складі АКПП служить для ступінчастої зміни крутного моменту, а також забезпечує рух автомобіля заднім ходом.



Рисунок 14.14 - Роботизована коробка передач

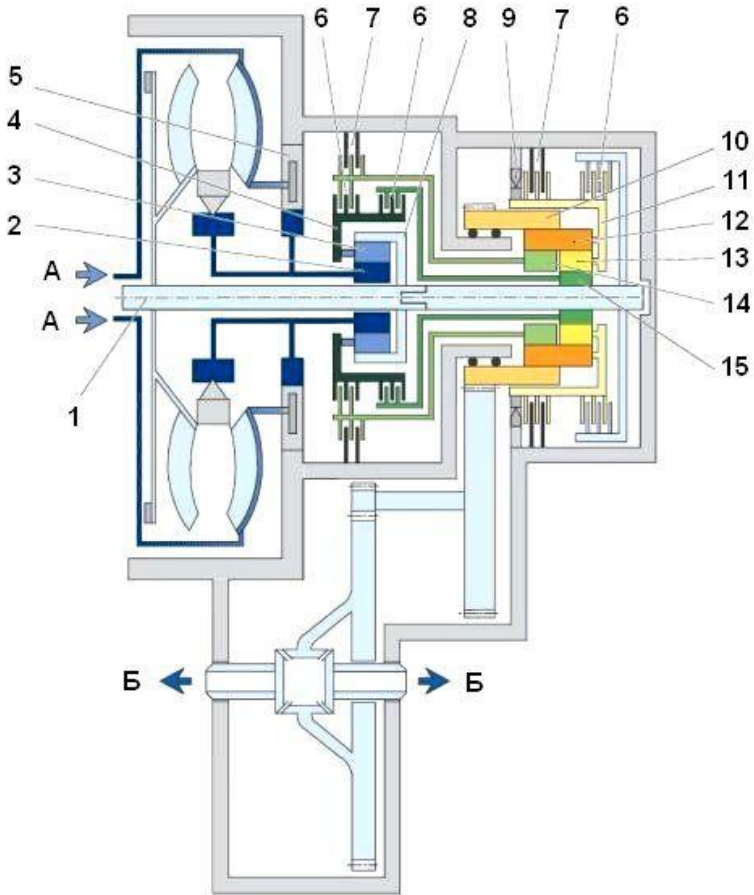
На автоматичних коробках, як правило, застосовуються планетарні редуктори, що відрізняються компактністю і можливістю співвісної роботи. Механічна коробка передач складається з декількох (зазвичай двох) планетарних редукторів, з'єднаних послідовно для спільної роботи.

Об'єднання планетарних редукторів дозволяє забезпечити необхідне число ступенів роботи. Сучасні автоматичні коробки виконуються шестиступінчастими, семиступінчастими, восьмиступінчастими (Audi, Bentley, BMW, Chrysler, Jaguar, Lexus) і навіть дев'ятиступеневими (Mercedes, Land Rover).

Планетарний редуктор в коробці передач складається з декількох послідовних планетарних передач, що утворюють планетарний ряд. Кожна планетарна передача включає сонячну шестерню, сателіти, коронну шестерню і водило.

Зміна крутного моменту і передача обертання здійснюються за умови блокування одного або двох елементів планетарного ряду (сонячної шестерні, коронної шестерні, водила). Блокування коронної шестерні планетарного ряду призводить до збільшення передавального відношення. Нерухома сонячна шестерня, навпаки, зменшує передавальне відношення.

Блокування водила призводить до зміни напрямку обертання. Блокування здійснюють відповідні фрикційні муфти і гальма (обіходна назва - фрикціони). Муфта блокує елементи планетарного ряду між собою. Гальмо утримує конкретні елементи редуктора за рахунок з'єднання з корпусом коробки. У різних конструкціях АКПП використовуються багатодискові або стрічкові гальма.



- 1 - вал турбінного колеса; 2 - сонячна шестерня одинарного планетарного ряду; 3 - сателіти одинарного планетарного ряду; 4 - водило одинарного планетарного ряду; 5 - шестерінчастий насос; 6 - фрикційна муфта; 7 - фрикційне гальмо; 8 - коронна шестерня одинарного планетарного ряду; 9 - обгінна муфта; 10 - коронна шестерня здвоєного планетарного ряду; 11 - водило здвоєного планетарного ряду; 12 - довгі сателіти здвоєного планетарного ряду; 13 - короткі сателіти здвоєного планетарного ряду; 14 - велика сонячна шестерня здвоєного планетарного ряду; 15 - мала сонячна шестерня здвоєного планетарного ряду
- A - підведений крутний момент; Б - відбір потужності

Рисунок 14.15 - Схема автоматичної коробки передач

Муфти та гальма замикаються за допомогою гідроциліндрів, які управляються з розподільного модуля. У конструкції коробки може застосовуватися обгінна муфта, яка утримує водило від обертання в протилежну сторону.

Таким чином, механізмами перемикання передач в автоматичній коробці є фрикційні муфти і гальма. Робота АКПП полягає у виконанні певного алгоритму включення і виключення муфт і гальм.

На сучасних автоматичних коробках передач застосовується електронна система керування, яка включає вхідні датчики, електронний блок керування, розподільний модуль і важіль селектора.

В системі *використовуються наступні датчики*: частоти обертання на вході коробки передач, частоти обертання на виході коробки передач, температури робочої рідини, положення важеля селектора, положення педалі акселератора.

Електронний блок керування коробкою передач обробляє сигнали датчиків і формує керуючі сигнали на виконавчі пристрої розподільного модуля. У своїй роботі електронний блок реалізує т.зв. програму «нечіткої логіки» (fuzzy logic), що передбачає гнучкий алгоритм визначення точок переходу на вищу або нижчу передачу. Блок керування коробкою передач взаємодіє з системою керування двигуном.

Розподільчий модуль (інше найменування - гідравлічний блок) керує потоками робочої рідини і забезпечує спрацьовування фрикційних муфт і гальм. Він складається з електромагнітних клапанів і золотників-розподільників з механічним приводом, з'єднаних каналами і поміщених в алюмінієвий корпус.

Електромагнітні клапани (не дуже коректна повсякденна назва - соленоїди) використовуються для керування перемиканням передач (двохпозиційні клапани) і регулювання тиску рідини (клапани з широтно-імпульсною модуляцією). Роботою електромагнітних клапанів керує електронний блок керування коробкою передач. Золотники-розподільники забезпечують вибір режимів роботи і приводяться в дію від важеля селектора.

Циркуляцію робочої рідини в автоматичній коробці передач здійснює шестерінчастий насос з внутрішнім зачепленням шестерень або лопатевий насос. Насос приводиться в дію від маточини гідротрансформатора. Насос є основою гідравлічної системи коробки передач, в яку крім нього входить гідравлічний блок, гідроциліндри приводу муфт і гальм, трубопроводи.

Охолодження робочої рідини в АКПП виробляє відповідна система. Робоча рідина може охолоджуватися в охолоджувачі (теплообміннику), включеному в систему охолодження двигуна. Ряд конструкцій коробок має окремий радіатор робочої рідини.

Безпосереднє керування АКПП здійснюється важелем селектора. Вибір потрібного режиму роботи коробки проводиться переміщенням важеля в певне положення:

- P - режим парковки;
- R - режим заднього ходу;
- N - нейтральний режим;
- D - рух вперед в режимі автоматичного перемикавання передач;
- S - спортивний режим.

На окремих коробках реалізується т.зв. режим «кік-даун» (kick-down), що передбачає різке прискорення автомобіля шляхом перемикавання на знижену передачу. Необхідність прискорення визначається за допомогою датчика положення педалі газу. Деякі моделі автоматичних коробок обладнуються функцією ручного перемикавання передач, т.зв. функція Tiptronic.

### **Керування автоматичною коробкою передач.**

Керування автоматичною коробкою передач здійснює електрогідравлічна система. Під терміном «електрогідравлічна» слід розуміти, що безпосереднє керування процесом перемикавання передач і блокування гідротрансформатора здійснює гідравлічна система, а регулювання потоків робочої рідини - електронна система.

Електроніка в управлінні АКПП дозволяє добитися високої швидкості перемикавання передач, плавності роботи, економії палива. Крім цього електронна система керування надає можливість використовувати одну коробку передач з різними двигунами і на різних автомобілях тільки за рахунок перепрограмування блоку керування.

Електронна система керування автоматичною коробкою передач включає вхідні датчики, блок керування і виконавчі пристрої. До вхідних датчиків належать: датчик положення важеля селектора, датчик частоти обертання на вході коробки передач, датчик частоти обертання на виході коробки передач, датчик температури робочої рідини, датчик режиму Tiptronic, датчик режиму «кік-даун».

**Датчик положення важеля селектора** (інша назва - багатофункціональний датчик) враховує положення важеля селектора коробки передач, відповідно до якого блок керування активізує відповідні про-

грами. Інформація від датчика частоти обертання на вході коробки передач використовується при перемиканні передач і блокуванні гідротрансформатора.

*Датчик частоти обертання на виході коробки передач* видає параметр, за яким проводиться перемикання передач.

*Датчик температури робочої рідини* використовується для регулювання тиску робочої рідини і захисту системи від перегріву.

*Датчик режиму Tiptronic* є мікроперемикачем, за сигналами якого відбувається перемикання передач на вищу або нижчу ступінь.

*Датчик режиму «кік-даун»* встановлюється на педалі газу і запускає програму різкого прискорення автомобіля.

На основі сигналів, що надходять від датчиків, електронний блок керування визначає логіку перемикання передач відповідно до закладеної програми. Блок керування взаємодіє з іншими електронними системами автомобіля: керування двигуном, антиблокувальною системою гальм (курсової стійкості), рульовим керуванням, клімат-контролем.

Блок керування АКПП в роботі використовує сигнали ряду датчиків системи керування двигуном: частоти обертання колінчастого вала, положення дросельної заслінки, положення педалі акселератора. Крім цього, блок керування двигуном при необхідності зменшує крутний момент при перемиканні передач.

На підставі сигналів датчиків частоти обертання коліс, що входять до складу системи ABS (ESP), розпізнаються різні умови руху (поворот, спуск, пробуксовка). В управлінні автоматичною коробкою передач можуть використовуватися показання датчика кута повороту рульового колеса.

Блок керування реалізує управлінські функції за допомогою виконавчих пристроїв - електромагнітних клапанів в гідравлічному блоці, а також електромагніту блокування важеля селектора.

Для керування потоками робочої рідини використовуються дво-хпозиційні клапани (відкрито / закрито) і клапани з широтно-імпульсною модуляцією (мають змінний прохідний отвір). За допомогою регульованих потоків рідини проводиться блокування муфти, гальм і включення конкретної передачі, а також блокування муфти гідротрансформатора. Важіль селектора від несанкціонованого включення блокується електромагнітом. Зняття з блокування можливе лише при натиснутій педалі гальма.

### ***Принцип роботи системи керування.***

Керування автоматичною коробкою передач засноване на визначенні оптимального моменту перемикання передач. Момент перемикання розраховується на основі великої кількості даних (параметрів) за принципом нечіткої логіки, що допускає навмисну невизначеність у виборі рішення.

На сучасних автоматичних коробках реалізована ***адаптивна*** (інша назва - динамічна) ***програма керування***, в якій процес вибору і перемикання передач адаптований до конкретних потреб водія і поточної дорожньої ситуації.

Адаптація коробки передач до стилю водіння конкретної людини виробляється шляхом оцінки характеру розгону (інтенсивності натискання педалі газу) і характеру гальмування (інтенсивності натискання педалі гальма). За результатами оцінки запускається відповідний алгоритм керування.

У адаптивній програмі керування автоматичною коробкою передач враховуються такі умови руху: ухил, поворот, рух з причепом, рух по зимовій дорозі, прискорення, міський режим руху.

***Рух під ухил*** розпізнається по прискоренню автомобіля і відпущеній педалі газу. Система керування блокує перемикання коробки на вищу передачу, що дозволяє використовувати гальмування двигуном. При натисканні на педаль гальма відбувається перемикання на одну передачу вниз, що надає додаткову допомогу при гальмуванні.

***Рух в повороті*** визначається за різницею кутових швидкостей лівого і правого коліс. Програма керування блокує перемикання на вищу передачу. Автомобіль в повороті рухається на зниженій передачі, чим досягається курсова стійкість і забезпечується краще прискорення при виході з повороту.

***Рух з причепом*** оцінюється по збільшенню тягового зусилля. Для забезпечення рівномірності руху з причепом програма уникає частих перемикань передач. Адаптація до зимових умов руху досягається за рахунок зрушення з 2-ї передачі і раннього перемикання на підвищену передачу, що дозволяє уникнути пробуксовки.

В умовах ***міського режиму руху***, що характеризується частими зупинками і зрушення з місця, адаптивне керування передбачає початок руху автомобіля з 2-ї передачі. Тим самим, знижується витрата палива і досягається комфорт руху.

***Різде прискорення автомобіля*** потрібне для здійснення обгону,

завершення небезпечного маневру, та й просто для динамічної їзди. Потреба в режимі «кік-даун» розпізнається за інтенсивністю натискання педалі газу.

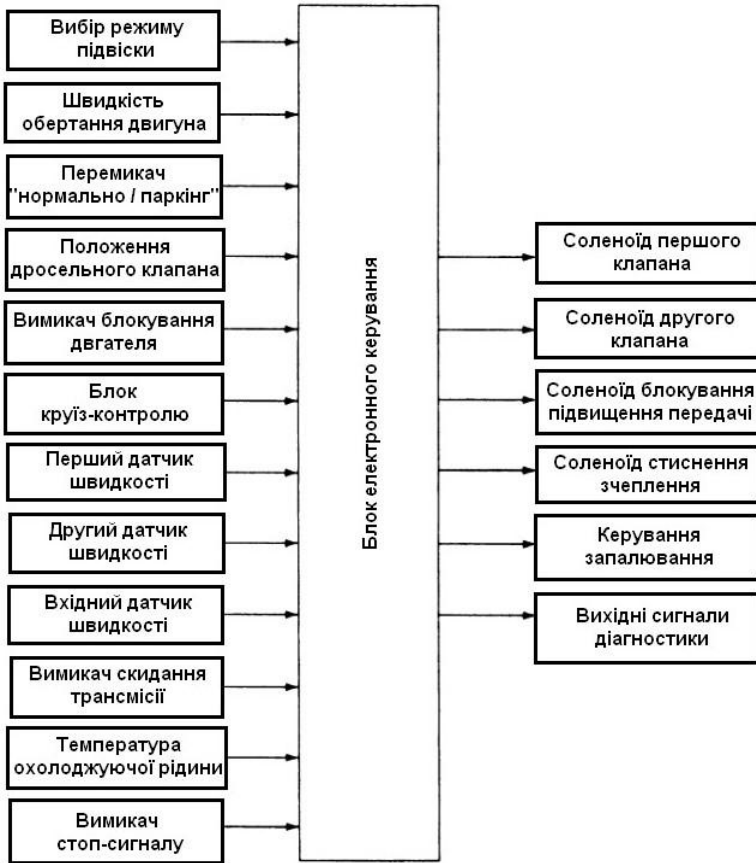


Рисунок 14.16 - Блок-схема електронно-керованої трансмісії

При цьому блок керування зміщує момент перемикання передач вгору, при русі на підвищеній передачі примусово включається нижча передача, переключення на вищу передачу проводиться тільки при досягненні максимальної частоти обертання.

Програма адаптивного керування автоматично встановлює оптимальні настройки фізичного зносу в муфтах і гальмах, що дозволяє

зберегти незмінну якість перемикання передач протягом всього терміну служби коробки.

На деяких автоматичних коробках передач передбачений спортивний режим роботи, який забезпечує максимальне використання потужності двигуна. Режим забезпечує кращу розгінну динаміку за рахунок більш пізнього перемикання передач.

Слід пам'ятати, і тим більше розуміти, що детальний опис всіх конструктивних особливостей існуючих типів і моделей автоматичних коробок передач автомобілів, не тільки не є самоціллю, а й виходить за рамки даного курсу. З огляду на це, тут викладено лише найважливіші моменти для розуміння «загальної картини», куди все рухається на даний момент, в плані вдосконалення конструкцій коробок-автоматів. Але в той же час, на основі аналізу різних конструктивних рішень, все ж можна скласти якусь загальну блок-схему, для полегшення розуміння з'єднання датчиків і систем в єдине ціле (рис. 14.16).

### **Функція (Tiptronic).**

Назва Tiptronic - є торговою маркою функції (режиму) ручного перемикання передач, який реалізується в автоматичній коробці передач. Крім споживчих якостей, дана функція дозволяє контролювати динаміку автомобіля при різних режимах роботи двигуна (додаткове прискорення, гальмування двигуном, включення пониженої передачі при повороті та ін.), що недоступно для класичної АКПП.

Торгова марка Tiptronic зареєстрована в 1989 році і належить німецькому виробникові спортивних автомобілів Porsche. Спочатку система була розроблена для автоспорту, щоб забезпечити швидке переключення передач за рахунок найменшої траєкторії важеля керування.

В даний час функція Tiptronic використовується на автоматичних коробках передач, що встановлюються на автомобілі концерну Volkswagen (VW, Audi, Skoda, Seat, Porsche), а також на роботизованих коробках передач DSG, S-Tronic і варіаторі Multitronic. Аналогічна функція під назвою стептронік (Steptronic) реалізується на автомобілях BMW. Завдяки широкому поширенню ручного режиму на автоматичних коробках передач назва Tiptronic стала прозивною.

Багато хто використовує термін «тіптронік» для позначення окремої конструкції автоматичної коробки передач, яка включає функцію ручного перемикання передач, що не зовсім вірно. Tiptronic - це тільки функція АКПП.



Рисунок 14.17 - Функція автоматичної коробки передач Tiptronic

Режим Tiptronic здійснюється за допомогою важеля селектора автоматичної коробки передач. Для цього в кулісі селектора передбачений спеціальний виріз зі знаками «+» і «-». На деяких моделях автомобілів ручне перемикач передач здійснюється за допомогою підрульових перемикачів («пелюсток»). Обрана передача транслюється на інформаційний дисплей.

Функція реалізується за допомогою окремої програми в електронному блоці керування коробкою передач. Роботу системи Tiptronic забезпечують перемикачі в селекторі коробки передач і перемикачі (при наявності) на рульовому колесі.

У селекторі коробки передач може встановлюватися від одного до трьох (залежно від конструкції) перемикачів: один - для включення режиму, другий - для перемикач на вищу передачу і третій - для перемикач на нижчу передачу. Сигнали від перемикачів передаються в електронний блок керування, де запускається алгоритм програми. Блок керування, в свою чергу, забезпечує перемикач передач.

При натисканні на підрульові «пелюстки» система керування переводить коробку в ручний режим, минаючи перемикач важеля селектора. Якщо підрульові перемикачі не використовуються водієм, то після закінчення певного часу система керування самостійно переводить коробку в автоматичний режим роботи. У варіаторі Multitronic

функція Tіrtropic здійснюється за рахунок програмування фіксованих передавальних чисел в варіаторі.

### **Роботизована коробка передач.**

Роботизована коробка передач (повсякденна назва - коробка-робот) являє собою механічну коробку передач, в якій функції виключення зчеплення і перемикання передач автоматизовані. Назва «роботизована коробка передач» свідчить про те, що водій і умови руху формують тільки вхідну інформацію для системи управління, а роботою коробки передач керує електронний блок з певним алгоритмом управління.

Роботизована коробка передач поєднує в собі комфорт автоматичної коробки передач, надійність і паливну економічність механічної коробки передач. При цьому «робот» в більшості своїй значно дешевше класичної АКПП. В даний час практично всі провідні автовиробники оснащують свої автомобілі роботизованими коробками передач, встановлюючи їх на всю лінійку моделей від малого до преміум класу.

### ***Устрій роботизованої коробки передач.***

Роботизовані коробки передач розрізняються по конструкції, разом з тим, можна виділити загальну будову даного агрегату - механічна коробка передач з системою управління зчепленням і передачами.

В автоматизованих коробках передач використовується зчеплення фрикційного типу. Це може бути окремий диск або пакет фрикційних дисків. Прогресивним в конструкції коробки передач є т.зв. подвійне зчеплення, яке забезпечує передачу крутного моменту без розриву потоку потужності.

В основу конструкції роботизованою коробки покладена механічна коробка передач. При виробництві використовуються, в основному, готові технічні рішення. Наприклад, автоматизована коробка передач Speedshift від Mercedes-Benz побудована на базі АКПП 7G-Tropic шляхом заміни гідротрансформатора на фрикційне багатодискове зчеплення.

В основі коробки SMG від BMW лежить шестиступінчаста «механіка», обладнана електрогідравлічним приводом зчеплення. Коробки-роботи можуть мати електричний або гідравлічний привід зчеплення і передач. В електричному приводі виконавчими органами є сервомеханізми (електродвигун і механічна передача).



Рисунок 14.18 - Роботизована коробка передач Opel Easytronic

Гідравлічний привод здійснюється за допомогою гідроциліндрів, які управляються електромагнітними клапанами. Такий вид приводу ще називають електрогідравлічним. У ряді конструкцій «роботів» з електричним приводом (Easytronic від Opel, Durashift EST від Ford) використовується гідравлічний блок з електродвигуном для переміщення головного циліндра приводу зчеплення.

Електричний привод відрізняє невисока швидкість роботи (час перемикання передач 0,3-0,5 с) і менше енергоспоживання. Гідравлічний привод передбачає постійне підтримання тиску в системі, а отже великі витрати енергії. Але з іншого боку він швидший.

Деякі роботизовані коробки передач з гідравлічним приводом, що встановлюються на спортивні автомобілі, мають просто вражаючу швидкість перемикання передач: Ferrari 599GTO - 0,06 с, Lamborghini Aventador - 0,05 с. Ці якості визначають область застосування «роботів» з електричним приводом на бюджетних автомобілях, з гідравліч-

ним приводом - на більш дорогих автомобілях. Електричний привод мають такі конструкції коробок передач:

- Allshift від Mitsubishi;
- Dualogic від Fiat;
- Durashift EST від Ford;
- Easytronic від Opel;
- MultiMode від Toyota;
- SensoDrive від Citroen;
- 2-Tronic від Peugeot.

Досить велика кількість роботизованих коробок оснащені гідравлічним приводом:

- ISR (Independent Shifting Rods) від Lamborghini;
- Quickshift від Renault;
- R-Tronic від Audi;
- Selespeed від Alfa Romeo;
- SMG від BMW.

Управління роботизованою коробкою передач здійснює електронна система, яка включає вхідні датчики, електронний блок управління і виконавчі механізми. Вхідні датчики відслідковують основні параметри коробки передач: частоту обертання на вході і виході, положення вилок включення передач, положення селектора, а також тиск і температуру масла (для гідравлічного приводу) і передають їх в блок управління.

На підставі сигналів датчиків електронний блок управління формує керуючі впливи на виконавчі механізми відповідно до закладеної програми. У своїй роботі електронний блок взаємодіє з системою управління двигуном, системою ABS (ESP). У роботизованих коробках з гідравлічним приводом в систему управління додатково включений гідравлічний блок управління, який забезпечує безпосереднє управління гідроциліндрами і тиском в системі.

Виконавчими механізмами роботизованої коробки передач в залежності від виду приводу є електродвигуни (електричний привід), електромагнітні клапани гідроциліндрів (гідравлічний привід).

#### ***Коробка передач з подвійним зчепленням.***

Основним недоліком роботизованої коробки передач є порівняно великий час перемикання передач, що призводить до ривків і провалів в динаміці автомобіля і, відповідно, знижує комфорт від керування транспортним засобом. Рішення зазначеної проблеми було

знайдено в застосуванні коробки передач з двома зчепленнями, що забезпечила перемикання передач без розриву потоку потужності.

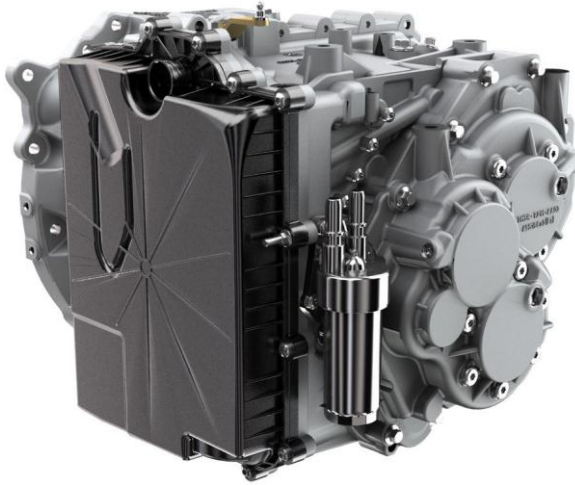


Рисунок 14.19 - Коробка передач з подвійним зчепленням Volvo S60

Подвійне зчеплення дозволяє при включеній передачі вибрати наступну передачу і при необхідності включити її без перерви в роботі коробки. Звідси інша назва роботизованої коробки передач з двома зчепленнями - *преселективна коробка передач* (від preselect - попередньо вибрати).

Іншою перевагою коробки передач з подвійним зчепленням є висока швидкість перемикання передач, що залежить тільки від швидкості перемикання муфт (DSG від Volkswagen - 0,2 с, DCT M Drivelogic від BMW - 0,1 с). «Робот» з двома зчепленнями відрізняє ще й компактність, що актуально для малолітражних автомобілів. Поряд з цим, можна відзначити підвищене енергоспоживання коробки (особливо з «мокрим» зчепленням). Порівняно висока швидкість перемикання передач в сукупності з безперервною передачею крутного моменту дозволяють домогтися відмінної розгінної динаміки автомобіля та економії палива.

В даний час подвійне зчеплення застосовується в багатьох роботизованих коробках передач:

- DCT M Drivelogic від BMW;

- DSG від Volkswagen;
- PDK від Porsche;
- Powershift від Ford, Volvo;
- Speedshift DCT від Mercedes-Benz;
- S-Tronic від Audi;
- TCT від Alfa Romeo;
- Twin Clutch SST від Mitsubishi.

Навіть чудова Ferrari 458 Italia обладнана Doppelkupplungsgetriebe (коробка передач з подвійним зчепленням). Всі перераховані роботизовані коробки передач використовують гідравлічний привод зчеплення і передач. І лише одна коробка передач на сьогоднішній день має електричний привод пристроїв, це EDC (Efficient Dual Clutch) від Renault (час перемикання передач 0,29с).

#### **Система контролю тиску в шинах.**

Система контролю тиску в шинах (TPMS, Tires Pressure Monitoring System) призначена для попередження про небезпечну зміну тиску в шинах. Дана система пропонується в якості опції при покупці автомобіля. Систему також можна придбати і встановити окремо. Система TPMS встановлюється на автомобілі з 2000 року. В даний час наявність системи контролю тиску в шинах є обов'язковою в ряді європейських і азіатських країн, а також в США.



Рисунок 14.20 - Датчик тиску в шинах

Розрізняють два види систем контролю тиску в шинах: непрямого і прямого виміру тиску. Найбільш простою з точки зору конструкції є система непрямого вимірювання тиску, що представляє собою програмне розширення блоку керування системи ABS. Принцип роботи даної системи заснований на тому, що спущене колесо має менший радіус і відповідно проходить за один оберт меншу відстань, ніж справне колесо.

Датчики частоти обертання коліс системи ABS визначають відрізок шляху, пройдений кожною шиною окремо, за один оборот. Сигнали датчиків порівнюються в блоці ABS з контрольними параметрами. При розбіжності значень, загоряється індикатор (контрольна лампа) на панелі приладів і подається звуковий сигнал.

В системі передбачено адаптацію до зміни параметрів тиску повітря в шинах в разі їх заміни або проведення сервісних робіт на ходової частини - т.зв. калібрування системи. При русі в новій якості, система оцінює і запам'ятовує параметри шин. Процес калібрування поступово переходить в контроль нових параметрів тиску в шинах.

Перевагами системи непрямого вимірювання тиску в шинах є відсутність додаткових конструктивних елементів і пов'язана з цим низька ціна. Разом з тим система має істотні обмеження в експлуатації, в тому числі не визначає тиск перед початком руху, має низьку точність і високий поріг (30 %) визначається відхилення тиску.

Система прямого виміру тиску передбачає вимірювання тиску в кожному колесі за допомогою відповідного датчика. Система включає датчики тиску в шинах, приймальню антену (антени), блок керування і дисплей.

Датчик тиску в шинах є складним пристроєм, що об'єднує датчик тиску, датчик температури, електронні компоненти вимірювання і керування, акумулятор і передавальну антену.

Датчик встановлюється на кожне колесо замість штатного вентилля. Інформація від датчика передається імпульсами з періодичністю, як правило, одна хвилина. Акумулятор підтримує працездатність датчика протягом 7-10 років. Після розрядки акумулятора старий датчик замінюється на новий.

Приймальна антена здійснює прийом сигналів від датчиків тиску і передачу їх в блок керування. В якості приймальної антени може використовуватися антена центрального замка автомобіля. На деяких автомобілях встановлюється розширена версія системи контролю тис-

ку, в якій для кожного датчика застосовується індивідуальна антена. Це дозволяє контролювати тиск в конкретному колесі і виводити його значення на інформаційний дисплей. Антена встановлюється в колісній арці кузова автомобіля.

Блок керування приймає інформацію від датчиків і порівнює отримані дані з контрольними параметрами тиску. У разі падіння тиску загоряється індикатор (контрольна лампа) на панелі приладів, подається звуковий сигнал. Дані сигнали вказують, що в якийсь шині тиск знизився нижче допустимого рівня. При цьому водій повинен зупинити транспортний засіб, перевірити тиск в кожній шині і визначити спущену шину.

У розширеній версії системи контролю тиску в шинах крім сигналів виводиться текстова та графічна інформація на дисплей. При наявності бортового комп'ютера для відображення інформації про тиск у шинах використовується дисплей комп'ютера. Надана інформація дозволяє виявити шину, в якій знизився тиск, а також оцінити фактичний тиск в ній.

Система контролю тиску в шинах прямого виміру дозволяє оцінювати незначну, сильну, а також раптову зміну тиску. В системі передбачено адаптацію до зміни параметрів у разі заміни шини або датчика тиску. У більшості сучасних систем адаптація проводиться автоматично при русі автомобіля з певною швидкістю протягом певного часу. Ряд конструкцій систем TPMS після заміни шин (датчиків) припускають перепрограмування за допомогою спеціального сканера.

### **Система запобігання ненавмисного прискорення.**

При парковці автомобіля з автоматичною коробкою передач все частіше трапляються випадки ненавмисного прискорення, викликані помилками в діях водія (особливо похилого віку): неправильним вибором педалі, надмірним натисканням педалі газу, перемиканням селектора коробки передач при натиснутій педалі газу.

Автомобіль несподівано прискорюється, що призводить до різних аварій - зіткнень з іншими автомобілями, спорудами, пішоходами. Для зниження аварійності при пакуванні розробляються різні системи запобігання ненавмисного прискорення. Такі системи в даний час пропонують Toyota, Nissan, General Motors.

Компанія Toyota розробила дві системи запобігання ненавмисного прискорення - Intelligent Clearance Sonar і Drive-Start Control. Системи не дублюють, а взаємно доповнюють одна одну.

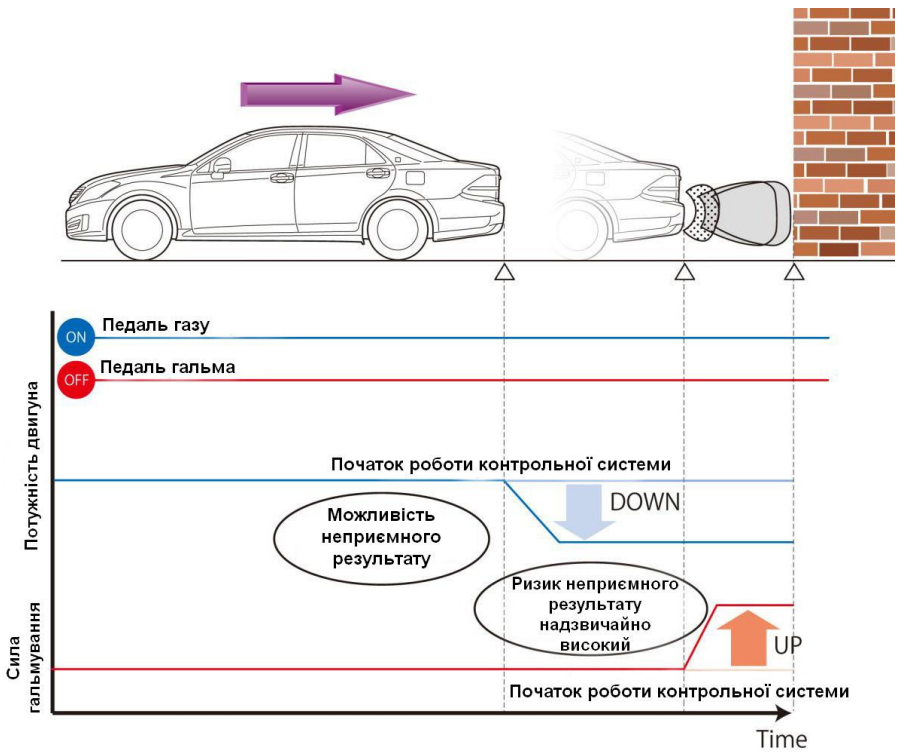


Рисунок 14.21 - Система Intelligent Clearance Sonar

**Система Intelligent Clearance Sonar** базується на кількох ультразвукових датчиках, які сканують простір попереду і позаду автомобіля. При прискоренні автомобіля, пов'язаному з неправильним використанням педалей і надмірним натисканням педалі газу, датчики визначають положення перешкод і відстань до них.

Сигнали від датчиків обробляє електронний блок керування, який взаємодіє з іншими системами автомобіля - системою керування двигуном і системою курсової стійкості. З їх допомогою при необхідності знижується потужність двигуна (гальмування двигуном) і активізується гальмівна система.

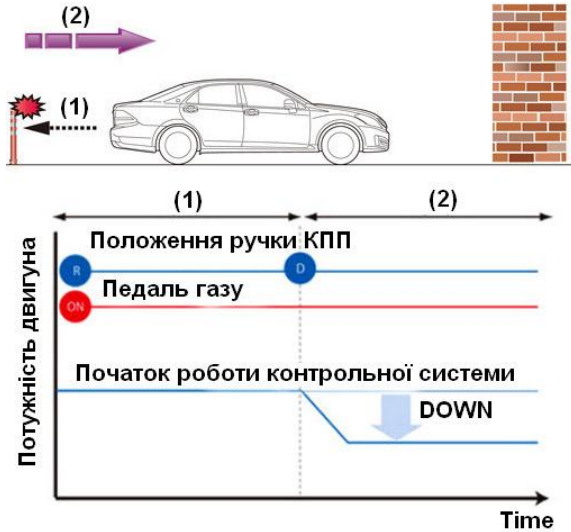


Рисунок 14.22 - Система Drive-Start Control

Зниження потужності двигуна здійснюється шляхом закриття дросельної заслінки з електричним приводом. Якщо гальмування двигуном недостатньо для запобігання аварії, активізується гальмівна система. Система курсової стійкості автоматично підвищує тиск в гальмівному контурі і автомобіль зупиняється.

**Система Drive-Start Control** запобігає прискоренню автомобіля, викликаному перемиканням селектора автоматичної коробки передач з режиму заднього ходу (R) в режим руху (D) при натиснутій педалі газу. У роботі системи використовується кілька датчиків: положення педалі акселератора, положення селектора АКПП, швидкості автомо-

біля, прискорення автомобіля.

Сигнали від датчиків надходять в електронний блок керування. Якщо система розпізнає ненавмисне прискорення автомобіля (селектор коробки передач переключено з R в D, педаль газу натиснута, швидкість автомобіля збільшується) проводиться зниження потужності двигуна шляхом закриття дросельної заслінки.

### **Питання для самоперевірки**

1. Які чотири головні функції повинна виконувати підвіска?
2. Які переваги активної підвіски?
3. Назвіть датчики і приводи які входять до складу активної підвіски.
4. Намалюйте принципову схему активної підвіски автомобіля та поясніть принцип її роботи.
5. Які переваги систем повного приводу автомобілів?
6. Намалюйте принципову схему системи постійного повного приводу автомобіля та поясніть принцип його роботи.
7. В чому полягають конструктивні особливості системи повного приводу що підключається автоматично?
8. Принцип роботи системи повного приводу автомобіля що підключається вручну.
9. В чому полягають конструктивні особливості системи повного приводу 4Motion?
10. Розкажіть принцип роботи системи 4Motion.
11. Які основні конструктивні елементи системи повного приводу Electron quattro?
12. Як працює система повного приводу 4Matic?
13. В чому полягають конструктивні особливості системи повного приводу xDrive?
14. Що собою являє система адаптації до дорожніх умов?
15. Назвіть датчики електронної системи керування автоматичною коробкою передач автомобіля.
16. Що таке роботизована коробка передач?
17. Як відбувається адаптація коробки передач до стилю водіння конкретної людини?
18. Поясніть функцію Tiptronic коробки передач автомобіля.
19. Як здійснюється керування шківками варіатора?
20. Як працює електронне блокування диференціала?
21. Як працює система запобігання ненавмисного прискорення?

## ЛЕКЦІЯ № 15. ГІБРИДНІ ТА ЕЛЕКТРИЧНІ АВТОМОБІЛІ

**План лекції.** Типи гібридних приводів. Газотурбінний гібрид. Визначення автомобіля з електричним приводом. Батареї електромобіля. Приводні мотори. Мотори змінного струму. Асинхронний мотор. Синхронний мотор з постійним збудженням. Електронно-керовані мотори. Система електромобіля на батареї натрій-сірка. Індуктивна система заряду батарей. Майбутнє електромобілів.

**Література:** [2], [5], [8], [27], [28], [39]-[55].

Тиск суспільства, спрямований на створення транспортних засобів, що не використовують викопне паливо, постійно збільшується. Дійсно, останні законодавчі акти встановили необхідність виробництва транспортних засобів з нульовою емісією викидів (zero emission vehicle - ZEV). Розвиток концепції електричного автомобіля усе ще перебуває в стані пошуку, але деякі з основних автовиробників уже сьогодні мають у наявності конструкції електричних автомобілів для продажу широкій публіці.

Ще в 1990 р. компанія General Motors оголосила, що її електромобіль (electric vehicle - EV) Impact може прискорюватися до 100 км/год усього за 8 с, має максимальну швидкість 160 км/год (100 миль/год) і пробіг 240 км між заправленнями. Експлуатаційні витрати були вдвічі більше, чим в еквівалентного по характеристиках автомобіля на викопному паливі, але ці витрати поступово знижувалися.

Автомобіль мав шини, що знижують опір абсолютно нової конструкції й гальма, які при включенні діяли як генератори (регенеративне гальмування). Автомобіль забезпечувався енергією від 397-кілограмового набору вдосконалених свинцево-кислотних батарей із гелієвим електролітом (32 штуки по 10 В), і мав два невеликі електричні мотори змінного струму для привода передніх коліс. Час перезарядження становив близько 2 годин, але він міг бути скорочений до години у випадку крайньої необхідності. Це було дуже вражаюче, але на цьому розвиток не зупинився.

Дана тема є лише введенням у технологію, яка однозначно стане коли-небудь провідною в індустрії автомобільного моторобудування.

### Поняття про автомобіль із електричним приводом.

На рис. 15.1 показана загальна блок-схема електричного автомобіля. Зазначимо, що батареї для живлення двигуна часто мають напругу кілька сотень вольт, тоді як для системи «нормального» освітлення та інших систем все ще потрібне джерело з більш низьким живленням 12/24 В. Деякі з показаних компонентів є необов'язковими.



Рисунок 15.1 - Загальна блок-схема електричного автомобіля

### Батареї електромобіля.

При конструюванні електричного автомобіля можливий вибір з безлічі варіантів, але, ризикуючи надмірно спростити суть проблеми, скажемо, що найважливішим вибором є тип батареї. На даний час головна перевага свинцево-кислотних батарей - це досконала технологія їх виготовлення, використовувана в автомобільній промисловості. Недоліком таких батарей є їх порівняно низька номінальна потужність.

Натрій-сірчана батарея є гарним конкурентом, але вона має набагато більшу вартість і вимагає застосування нових технологій, щоб упоратися з іншими експлуатаційними режимами типу високих температур. Істотні розробки ведуться у відношенні батарей на основі літію. Проте на сьогодні більшість батарей у широкій експлуатації - це батареї свинцево-кислотні або на основі нікелю.

### Привідні мотори.

Існує вибір між декількома варіантами приводного мотора. Основний вибір - між моторами змінного й постійного струму. Електромотор змінного струму надає масу переваг з погляду керування, але вимагає застосування інвертора для перетворення постійного струму батарей.

Електромотор постійного струму номінальною потужністю 50 кВт із шунтуючою обмоткою збудження - це розповсюджений вибір для малих транспортних засобів, але мотори змінного струму, імо-

вірно, незабаром стануть найбільш популярними. Привідні мотори можуть бути класифіковані як мотори змінного або постійного струму, але важко описати відмінності між мотором змінного струму й безщітковим мотором постійного струму.

**Мотори змінного струму.** Загалом кажучи, усі мотори змінного струму влаштовані по однаковому принципу. Трифазна обмотка розподіляється по контуру статора з ламінованого заліза й утворює обертове магнітне поле, за яким обертається ротор.

**Асинхронний мотор** зазвичай використовується з ротором типу «біляча клітка», складений з безлічі пар полюсів. Трифазний статор мотора може мати обмотку «трикутник» або «зірка» (рис. 15.2). Обертове магнітне поле в статорі викликає ЕРС у роторі, який являє собою замкнений ланцюг, у такий спосіб в ланцюгу ротора індукується електричний струм.

Цей струм створює магнітне поле, яке взаємодіє з первісним полем статора, що призводить до обертання ротора. Ступінь проковзування (відмінність у швидкості ротора й поля) - приблизно 5 %, коли мотор працює в оптимальному режимі.

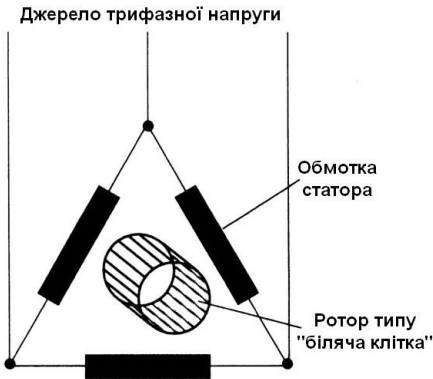


Рисунок 15.2 - Асинхронний мотор з ротором «біляча клітка», складеним з безлічі пар полюсів

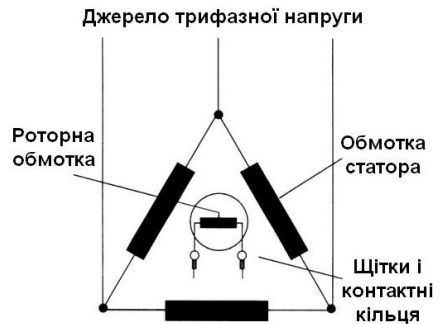


Рисунок 15.3 - Схема синхронного мотора

### **Синхронний мотор з постійним збудженням.**

Цей мотор має роторну обмотку, називану індуктором, яка являє собою котушку, що намагнічується джерелом постійного струму через

два контактні кільця. Магнітне поле «чіпляється» до магнітного поля що обертається і створює постійний крутний момент. Якщо швидкість обертання менше, ніж ротора, виникають коливання крутного моменту, і через мотор може почати текти сильний струм. Цей мотор потребує спеціальних заходів для первісного запуску. Його перевага, однак, полягає в тому, що він працює як ідеальний генератор (на нього дуже схожий звичайний генератор змінного струму автомобіля). Схема синхронного мотора наведена на рис. 15.3.

**Електронно-керовані мотори.** Мотори, керовані за допомогою електроніки (electronically controlled - EC), займають місце між мотором змінного струму й мотором постійного струму (рис. 15.4).

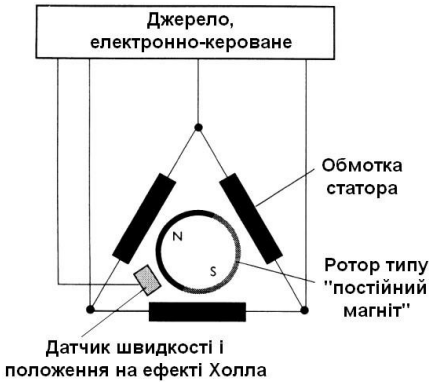


Рисунок 15.4 - ЕС-мотор посередині між моторами змінного і постійного струму

Принцип дії такого мотора подібний принципу дії синхронного мотора, описаного вище, крім ротора, який містить постійні магніти й, отже, не має ніяких контактних кілець. Його іноді називають безщітковим мотором. Ротор керує датчиком, який забезпечує зворотний зв'язок із засобами керування з потужними електронними компонентами.

Ця система керування створює обертове поле, частота якого визначає швидкість мотора. Коли мотор використовується як приводний двигун, необхідна коробка передач, щоб гарантувати що

підтримується достатня швидкість мотора, обумовлена специфічними особливостями його обертаючого моменту. Деякі «фахівці» вважають, що якщо мотор живиться напругою прямокутної хвилі, це - мотор постійного струму, а якщо живиться напругою синусоїдальної хвилі - змінного струму. Але це створює «проблему» для опису моторів, що живляться трапецієподібними сигналами!

#### **Мотор постійного струму - послідовна обмотка.**

Мотор постійного струму - добре перевірений пристрій, який використовувався багато років на електричних транспортних засобах, типу заводських електрокарів і виловних навантажувачів. Його голов-

ний недолік полягає в тому, що через щітки й комутатор повинен протікати сильний струм. Мотор постійного струму із послідовним збудженням характеризується високим обертаючим моментом при низьких швидкостях. На рис. 15.5 показано, як можна управляти мотором із послідовною обмоткою використовуючи тїрїстор, і також забезпечити просте регенеративне гальмування.

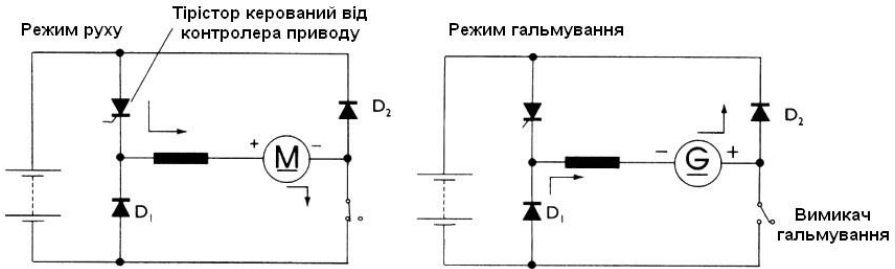


Рисунок 15.5 - Мотором з послідовною обмоткою можна управляти, використовуючи тїрїстор, цей мотор може також забезпечити просте регенеративне гальмування

**Двигун постійного струму - шунтувальна обмотка з паралельним збудженням.** Щоб змінити швидкість даного мотора, його полями можна керувати або додаючи опір, або використовуючи переривчастий режим живлення. Крутний момент під час запуску може стати проблемою, але проблему можна подолати вибором підходящого контролера. Цей мотор також підходить для регенеративного гальмування при збільшенні у відповідний момент сили магнітного поля. Деякі системи привода EV міняють тільки силу поля для нормального руху, і це може бути проблемою внаслідок великого струму при повільних швидкостях руху.

### Майбутнє електромобілів.

Концепція електричного автомобіля не нова, тому що істотна частина технології батареї була розвинена ще наприкінці 19-го століття, і чимало таких автомобілів було виготовлено вже до 1900 р. Хоча деякі моделі й досягали досить високих швидкостей, відповідно тому часу, електричний автомобіль був взагалі-то повільним і дорогим в експлуатації. Дальність його поїздок була також обмежена залежністю від можливості перезарядження батарей. Багато із цих проблем були переборені, але не всі. Вартість все ще залишається проблемою, але

«вартість» - це поняття відносно, і якщо поміркувати над наслідками забруднення середовища, то «вартість», можливо, і не здасться настільки високою.

Хоча сьгоднішні досягнення в технологіях батарей і збільшили дальність поїздок електромобілів, максимальна швидкість круїзу обмежена, так само як і безліч приналежностей, які можуть бути встановлені на автомобіль. З іншого боку, електричний автомобіль, як очікують, буде механічно більш надійним і довговічним, ніж його еквівалент, що працює на викопному паливі.

### **Гібридні транспортні засоби.**

Концепція транспортного засобу з комбінованим джерелом енергії досить очевидна і також не нова. Двигуни внутрішнього згоряння (internal combustion - IC) створюють небезпечну емісію й мають низьку ефективність при частковому навантаженні. Електромобілі не роблять «ніякої» емісії, але мають обмежену дальність дії.

Рішення полягає в тому, щоб об'єднати кращі властивості обох типів і мінімізувати гірші. У такому об'єднанні - принцип системи гібридного двигуна.

Один з варіантів експлуатації таких транспортних засобів полягає в тому, щоб масово використовувати електропривод в режимі повільного руху в місті й використовувати двигуни внутрішнього згоряння на відкритій дорозі. Це могло б стати самим підходящим способом для того, щоб зменшити забруднення в містах. Досить продумані системи керуванні фактично дозволяють реалізувати ще кращий варіант, а саме, щоб за певних умов і електромотор, і двигун могли застосовуватися одночасно.

### ***Типи гібридних приводів.***

На рис. 15.6 показані можливі варіанти гібридного привода. Можна також використовувати різні типи двигуна внутрішнього згоряння, наприклад, бензиновий, дизельний або навіть газотурбінний.

Розташування двигунів може бути як послідовне, так і паралельне. Є підстава вважати, що паралельне розташування буде більш популярне через його більшу гнучкість. Однак послідовна система дозволяє двигуну на викопному паливі працювати на постійній швидкості обертаючи електрогенератор. Це робить використання двигуна внутрішнього згоряння значно ефективним.

Але процес подвійного перетворення енергії (механічної в електричну, потім знову в механічну) менш ефективний, ніж прямий при-

вод трансмісії транспортного засобу. Інша перевага послідовного з'єднання різнотипних двигунів полягає в тому, що трансмісія (коробка передач) не є істотною проблемою в цьому випадку.

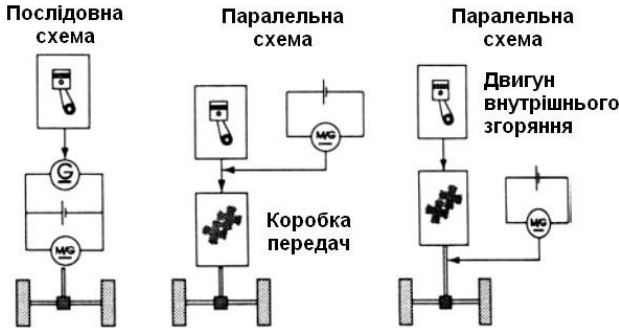


Рисунок 15.6 - Варіанти гібридного привода

Гібрид, або транспортний засіб з комбінованим джерелом енергії» ймовірно, стане більш популярним. Здається, що такий автомобіль є ідеальним і очевидним компромісом, поки здійснюється подальший розвиток технології електропривода й батарей. У майбутньому може стати можливим створення двигуна на викопному паливі, який при роботі на постійній потужності буде мати якщо не нульовий рівень викидів, те досить близький до нуля.

Тоді при об'єднанні такого двигуна з дуже ефективною системою електродвигуна й акумуляторної батареї, може бути створений і прийнятний до загального використання - ZEV (zero emission vehicle), тобто, транспортний засіб з нульовою емісією.

Сьогодні загальновідомо, що ніякої чудо-батарей не з'явиться, принаймні, у недалекому майбутньому. Щільність енергії викопного палива на порядок перевищує щільність енергії для будь-якого типу батареї. Ця обставина вселяє ще більшу віру в гібридний проект. І цю думку підтримують керівники провідних японських автовиробників.

### **Розвиток конструкцій електромобілів недалекого минулого.**

#### ***General Motors - електромобіль EV-1 (версія 1999 р.).***

Компанія General Motors, можливо, відкрила для автомобільної промисловості еру розробок масових електричних транспортних засобів з 1960-х рр., і зробила серйозний внесок у розмірі майже п'ятисот мільйонів доларів у програму розробок своїх моделей Impact і Preview.

Як прямиий наслідок цих ініціатив, на світло з'явився автомобіль EV-1 (рис 15.7) - перший у світі електромобіль, спеціально сконструйований для промислового виробництва; компанія General Motors стала також першою, яка стала його продавати в США в 1996 р.

EV-1 було елегантне двомісне купе, мало коефіцієнт лобового опору всього 0,19, спеціальну конструкцію шасі з алюмінію (на 40 % легшу, ніж сталеве) і панелі кузова з композитних матеріалів. Швидкість автомобіля регулювалася за допомогою електроніки.

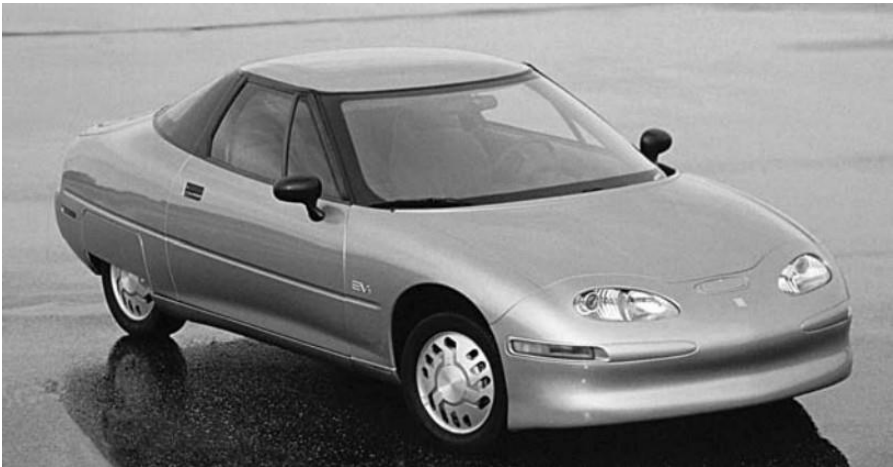


Рисунок 15.7 - Електромобіль General Motors EV-1

При вазі всього 1 350 кг автомобіль розвивав максимальну швидкість до 128 км/год (80 миль/год) - хоча прототип EV-1 тоді фактично втримував світовий рекорд швидкості по землі для електричних транспортних засобів в 293 км/год (183 миль/год). EV-1 міг досягти швидкості 96 км/год (60 миль/год) зі стану спокою менше ніж за 9 с. На той час це було просто вражаюче!

Ключ до успіху EV-1 криється в його електричній силовій установці, яка була побудована на трифазному індукційному моторі змінного струму потужністю 103 кВт (137 к.с), з інтегральною одношвидкісною передачею з подвійною редукцією на ведучі передні колеса. Мотор не вимагав ніякого звичайного обслуговування при пробігу більше ніж 160 000 км (100 000 миль). Це був ще один досить непоганий показник, і привід для покупки цієї машини.

Пакет батарей використовував 26 свинцево-кислотних необслуговуваних батарей на 12 В, забезпечуючи повну напругу 312 В і дальність поїздки 112 км (70 миль) на цикл зарядки в міських умовах і 144 км (90 миль) на вільній дорозі.

Однак протягом 1998 р. були поетапно введені у виробництво нові нікель-метал-гідридні батареї (NiMH), що дозволило майже подвоїти дальність електромобіля, довівши її до 224 км (140 миль) у місті й 252 км (160 миль) на шосе. Інноваційна регенеративна гальмова система допомагала збільшити цю дальність ще більшою мірою, завдяки перетворенню енергії, одержуваної при гальмуванні, назад в електрику, щоб частково перезарядити пакет батарей.

Повне перезарядження могло бути безпечно виконане при будь-яких погодних умовах і займало 3-4 години при використанні стандартних зарядних пристроїв на 220 В або 15 годин при використанні бортових зарядних пристроїв на 110 В. Низька вартість електрики в побутових умовах означає, що експлуатаційні витрати відносно невеликі у зрівнянні з автомобілями на звичайному викопному паливі.

Регенеративне гальмування досягається при використанні змішаної комбінації передніх гідравлічних дискових гальм і задніх електрично керованих гальмових барабанів і електричного тягового двигуна. Під час гальмування електричний двигун виробляє регенеративну електрику, яка потім використовується, щоб частково перезаряджати пакет батарей.

EV-1 надходив у продаж із системами керування зчепленням, автоматичного регулювання швидкості й антиблокування гальм. Автомобіль був постачений подвійними повітряними подушками, електричними склопідійомниками, АМ/FM приймачем із програвачем CD/касет (так, були й такі пристрої), системою контролю тиску шин і численним іншими пристосуваннями.

### ***Nissan-Altra.***

Компанія Nissan підтвердила вартість свого електромобіля Altra після успіху початкових випробувань у США протягом 1998 р. Altra - машина з кузовом «універсал», була створена для американського ринку, а електромобільна версія була першою моделлю з нульовою емісією від компанії Nissan, призначеної до пропажі поза Японією.

Altra мала охолоджуваній водою синхронний електричний мотор з постійними магнітами, в якому вперше був використаний дуже ефективний сплав «неодім-залізо-бор» (Nd-Fe-B). Сплав був знайде-

ний випадково, коли було неправильно зрозуміло замовлення на матеріали! В автомобілі використовувався електродвигун компанії Hitachi - один із самих потужних у світі, що розвивав потужність 62 кВт (84 к.с.) і крутний момент 159 Нм з максимальною швидкістю обертання ротора 13 000 об/хв. Середня швидкість мотора 8 000-9 000 об/хв, і відношення потужності до ваги 39-кілограмового двигуна 1,6 кВт/кг на той час було одним із кращих для електромобілів.



Рисунок 15.8 - Електромобіль Altra EV

Енергію забезпечував пакет літій-іонних батарей, розроблений компанією Sony Corporation. Пакет видавав номінальну вихідну напругу 345 В від 12 модулів по 8 елементів, причому кожний виробляв живлення 36 В при повній зарядці і 20 В, коли елемент був розряджений. Вага бруто пакета батарей становила 350 кг і він мав щільність енергії 90 (Вт/ч)/кг у діапазоні нормальних температур.

Термін служби акумулятора становив 1200 циклів (до зниження ККД на 5%), але компанія Nissan заявила, що батареї без істотних втрат витримують більше 2 000 циклів. Пакет батарей був змонтований в алюмінієвому піддоні з подвійними стінками, пригвинченому до центру платформи між передніми й задніми осями коліс, нижче рівня підлоги; а для його охолодження використовувалася спеціальна система вентиляції.

Це все до того, що в широко розрекламованій Tesla нема нічого інноваційного, ну мабуть крім стилю піару; до речі який всі так вдало копіюють у Стіва Джобса. Бо начебто качина ходьба по сцені з мікрофоном у руці, і потужна праця пикою (кривляння), в момент виголошення таких же безглузких промов, здатні чудодійним чином збільшити продажі цього електромотлоху...

Векторний контролер, був розроблений компанією Nissan, і характеризувався наявністю двох повністю ідентичних центральних процесорів. Контролер охолоджувався водою й мав діапазон вхідної напруги 216-400 В. У контролері збиралися дані щодо ступеня зарядженості батарей, стратегії водіння, історії руху, використання допоміжних систем і роботи системи регенеративного гальмування, щоб робити точні прогнози дальності пробігу. Контролер також управляв системою охолодження батареї, забезпечував комунікацію між джерелом електроживлення й контролером литієво-іонних елементів і визначав стратегію зарядки засновану на зібраних даних.

Батареї заряджалися за допомогою індуктивного зв'язку із зовнішнім індуктивним зарядним пристроєм, який являв собою плоску пластину, що вставлялася в порт зарядки в передній частині автомобіля. Швидка зарядка займала п'ять годин й забезпечувала дальність поїздки 193 км, хоча на зайнятих дорогах реально було проїхати 135 км.

Altra мала гідравлічний підсилювач кермового приводу із електричним, а не механічним гідравлічним насосом, який працював тільки тоді, коли було потрібно збільшити зусилля. Стандартна свинцево-кислотна батарея 12 В, яка заряджалася через охолоджуваний водою перетворювач постійного струму від головної батареї, забезпечувала енергією допоміжні системи. Обігрів, вентиляція й кондиціонування повітря споживали 50 % енергії звичайної системи в режимі кондиціонування й 66 % при обігріві салону. Для обох систем використовувався холодоагент R134a; як і у випадку з гідропідсилювачем керма, електричний насос, що створював підвищений тиск, включався тільки по команді.

Регенеративна гальмівна система працювала у двох режимах:

- перший режим - запуск, коли водій натискає на педаль гальма, система забезпечує «почуття гальмування, схоже на те, що є у звичайному автомобілі»;
- другий режим - набагато більш важливий, він використовується, коли водій застосовує помірне зусилля гальмування.

Сама гальмова система має вигляд стандартної ABS із чотирма каналами.

Особливі вимоги до ваги не позначилися на пасивній і активній безпеці автомобіля в порівнянні зі стандартними транспортними засобами: в наявності були стандартні передні повітряні подушки, підсилювачі твердості дверей, передній і задній бампери ударного впливу до 8 км/год (5 миль/год).

Приладова панель - цифрового типу з великим тахометром. Сім ламп попередження давали водієві сигнал тривоги про 50 потенційно небезпечних ситуацій із системами батарей або електродвигуна. Якщо виникали критичні моменти, системи могли автоматично відключатися, щоб уникнути ушкодження.

### **Nelco - гібридний двигун.**

Ідея гібридного двигуна отримала цікавий розвиток у компанії Nelco. Система Nelco використовує електропривод, який потенційно може використовуватися на автомобілях разом із двигуном внутрішнього згоряння. Заявлені характеристики системи еквівалентні звичайному автомобілю із приводом на передні колеса, але з витратою палива в розмірі тільки двох третин від звичайного, й скороченою на дві третини шкідливою емісією. На рис. 15.9 показано паралельне розташування двигуна й мотора, використовуване для цієї системи.

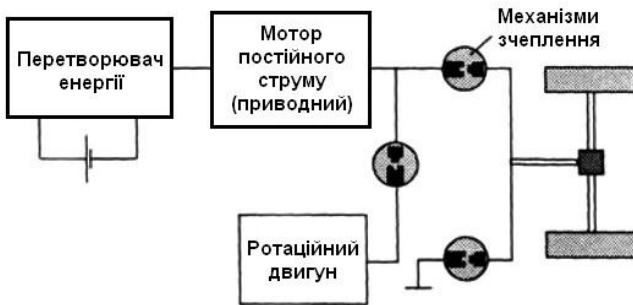


Рисунок 15.9 - Паралельне розташування двигунів використовуване для системи Nelco

Творці сподівалися, що транспортний засіб з таким двигуном би мати дальність 800 км (500 миль) і максимальну швидкість 160 км/год (100 миль/год). Основні використовувані компоненти: свинцево-кислотна батарея, що витримує глибоку розрядку, безщітковий

електромотор постійного струму з постійними магнітами й роторний двигун Norton.

Спеціальна батарея використовує конструкцію пластин зі свинцево-олов'яної фольги, яка була розвинена для авіаційної промисловості. Конструкція дозволяє реалізувати глибоку циклічність зарядки-розрядки й довгий термін служби, тому що високий внутрішній тиск запобігає втраті активного матеріалу під час потужної розрядки. Тести показали, що 18 батарей номіналом в 30 А/год і 12 В можуть забезпечити потужність 50 кВт протягом 5 хвилин.

Хоукер Сідлі (Hawker Siddeley) розробив плоскі грати елементів, які можуть бути поміщені під пасажирським купе автомобіля. Пакет має розміри 120x120x4 см, важить 170 кг і забезпечує енергію близько 7,5 кВт/год. Батарея може витримати 1100 циклів розряду до 80% глибини розряду (depth of discharge - DOD) і 11 000 циклів 20 % DOD.

Ці параметри і складають тривалість життя самого електромобіля як транспортного засобу. Причина такого довголіття - система термального керування батареєю, яка підтримує свинцево-кислотні елементи при постійній температурі в межах 30-40°C, що є найефективнішою робочою температурою.

Роторні двигуни Norton набули популярність завдяки виграшам головних призів у світових мотоперегонах. Цей двигун має швидкий прогрів і початковий обертальний момент тільки 8 Нм. Використовуються два електричні каталітичні конвертери з попереднім підігрівом. Система інжекції подає у двигун бідні суміші при високих навантаженнях. Рухова установка забезпечує постійні вихідні характеристики за допомогою електричного мотора, що додає відсутню потужність під час зміни навантаження.

На рис. 15.10 показаний поперечний розріз безщіткового електромотора постійного струму з постійними магнітами. Фактично використовуваний мотор важить 45 кг і охолоджується рідиною; в якості холодоагенту використовується масло, щоб запобігти утворенню льоду. Мотором керують складні по конструкції інвертор і схема регулювання. Напруга джерела живлення (батареї) 216 В перетворюється в постійну стабілізовану напругу 300 В для живлення мотора. Живлення на мотор подається за допомогою трифазного розподільника потужності із трапецієподібною або квадратною формою хвилі, фази живлення можуть бути змінені, щоб здійснювати гальмування або прискорення.

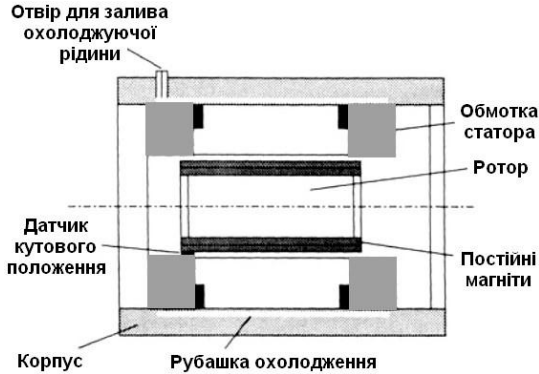


Рисунок 15.10 - Безщітковий мотор постійного струму з постійними магнітами

Положення педалі акселератора задає вхідний сигнал до модуля контролю, а датчик положення ротора на основі ефекту Холла забезпечує сигнал зворотного зв'язку. Зворотний зв'язок по положенню ротора повинен гарантувати правильний порядок фаз збудження мотора. Увесь блок енергопостачання важить близько 100 кг, у порівнянні з 200 КГ для звичайної системи. Батареї, однак, додають ще 130 кг поверх норми, але дозволяють зробити 48-кілометровий (30-мильний) пробіг, не використовуючи паливний двигун.

### **Система електромобіля на батареї натрій-сірка.**

Компонування електромобіля залежить від типу батареї й електродвигуна. На рис. 15.11 представлена система, що використовує батареї натрій-сірка (NaS) і мотор постійного струму із шунтуючою обмоткою збудження й звичайними щітками.

Зміна струму збудження й/або струму якоря дозволяє змінювати швидкість і обертаючий момент у моторах цього типу. Можливі характеристики при запуску таких моторів показані на рис. 15.12. Транспортний засіб починає прискорюватися в нульовий момент часу. На ранніх стадіях прискорення збудження підтримується сталим, а струм якоря обмежується, щоб відповідати межі споживання.

У міру збільшення швидкості обертання струм поля збудження зменшується, відповідно зменшується основне магнітне поле й зворотна ЕРС якоря. Струм якоря може бути збільшений, що дозволить підняти швидкість обертання. Мотори такого типу, ймовірно, будуть

охолоджуватися повітрям. Однак деякі системи використовують рідкий холодоагент. З метою максимальної ефективності всієї системи використовується регульована регенеративна гальмова система, яка дозволяє батареям перезаряджатися під час гальмування.

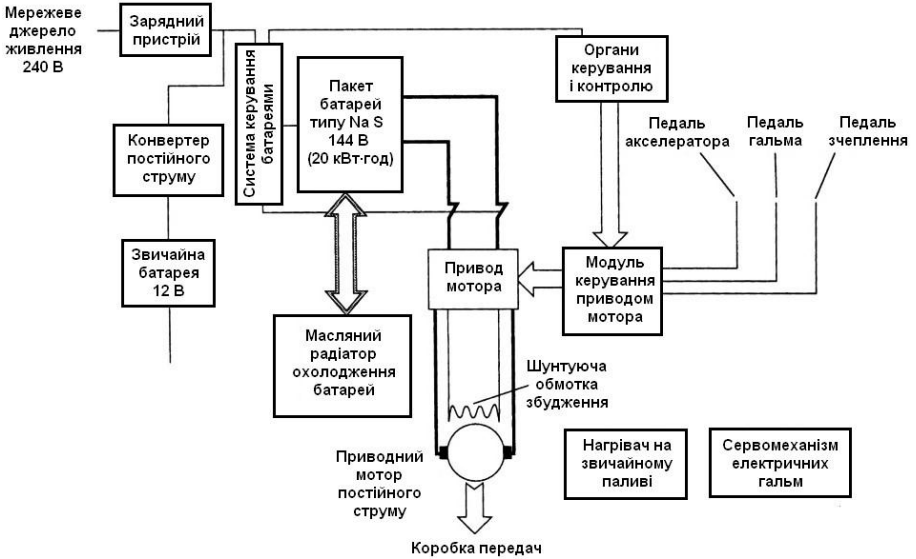


Рисунок 15.11 - Можливе типове компонування для системи, що використовує батареї натрій-сірка і мотор постійного струму із шунтуючою обмоткою збудження

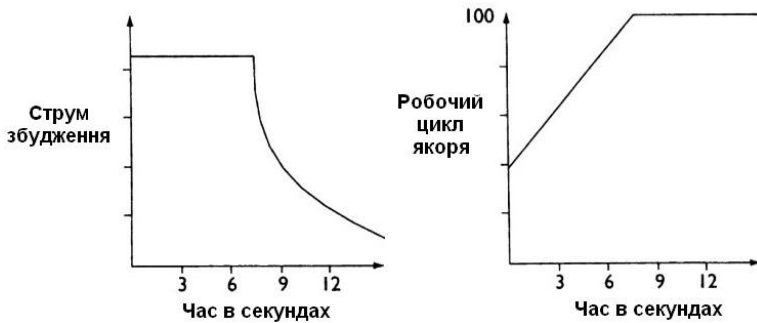


Рисунок 15.12 - Можливі характеристики при запуску моторів постійного струму із шунтуючою обмоткою збудження

Батареї звичайно з'єднуються послідовно, щоб збільшити вихідну напругу. Використання більш високих напруг дозволяє спростити конструкцію мотора, головним чином, через менші струми, необхідні для передачі тієї ж самої потужності. Застосовувана система керування батареями гарантує оптимальні значення швидкості заряду і розряду батареї. Може бути вбудовано кілька функцій попередження, щоб сигналізувати про несправність системи, крім того, можлива видача попередження про запас пробігу транспортного засобу. Ця інформація відображається на приладовій панелі.

У контролері привода використовуються сучасні потужні транзистори, транзисторами керує мікропроцесор, характеристики якого, у свою чергу, визначаються встановленими програмами. Контролер одержує вхідні сигнали від педалей гальма й акселератора, у якості датчиків використовуються прості потенціометри. Сигнали від інших засобів керування є сигналами від основних вимикачів.

Керування іншою частиною електричної системи електромобіля здійснюється за рахунок установки звичайної свинцево-кислотної батареї на 12 В. Вона підзаряджається при необхідності від батарей привода за допомогою конвертера постійного струму.

### **Газотурбінний гібрид.**

Сучасний газотурбінний двигун є вельми привабливим для автомобільної промисловості. Він відповідає екологічним тенденціям до низької емісії й малій витраті палива. Турбіна як двигун має безліч корисних особливостей:

- гарну теплову ефективність;
- чисте згоряння палива;
- високе відношення потужності до ваги;
- здатність працювати на різних видах палива;
- плавні перехідні процеси.

Ці переваги могли б зробити його природним переможцем над двигуном зі зворотно-поступальним рухом поршня. Однак автомобільна газова турбіна перебуває все ще в дитячому стані, незважаючи на багато технічних досягнень, зроблених з часів першого у світі газотурбінного автомобіля компанії Rover Jet 1.

Технічні проблеми, створені автомобільною газовою турбіною, залишаються значними і в багатьох відношеннях стають ще більш величезними. Це обумовлено, головним чином, успіхами технологій горіння, механіки, аеродинаміки, матеріалів і електротехніки.

Для гібридного електричного транспортного засобу газотурбінний двигун - найбільш підходящий. Він надає широкі можливості для проектування гібридних систем.

Газовий турбінний двигун має багато властивостей, що задовольняють вимогам автомобільної промисловості. Наприклад, він компактний і легкий, що забезпечує гнучкість у компонованні силової установки. Він зменшує вагу автомобіля, що поліпшує характеристики транспортного засобу і його економічність.

Сучасна конструкція камери згоряння бензинового двигуна забезпечує йому дуже низьку емісію всіх забруднювачів, навіть більш низьку, ніж у дизельного двигуна. Поліпшення емісії може бути досягнуте без використання каталітичного конвертера. Описувані переваги бензинового двигуна стають все більше і більше важливими в умовах сьогоденішнього ринку.

У порівнянні з еквівалентним поршневим двигуном, газові турбіни працюють плавно і тихо, вони можуть функціонувати на різних типах вуглеводневого палива, і властива їм простота механічної конструкції в результаті обертається підвищеною надійністю й збільшеним терміном служби.

У порівнянні зі звичним поршневим двигуном, турбіна до недавнього часу мала погані показники реакції при зміні потужності й економії палива при частковому навантаженні. Позначався також природній опір змінам з боку виробників автомобілів, через їхні колосальні інвестиції в інфраструктуру виробництва й обслуговування існуючого двигуна. Коли переваги турбіни об'єднуються з досягненнями в гібридних електричних системах, цей хвилюючий союз створить величезний потенціал для майбутньої гібридної техніки.

### **Індуктивна зарядка.**

Nissan Altra, як було описано раніше в цій темі, використовувала індуктивну зарядку. У цьому випадку «штекер», пов'язаний із зовнішнім джерелом енергії, вставлявся в роз'єм автомобіля. Ризик удару струмом і можливість перегріву через «втрату» з'єднання були майже виключені.

Індуктивна зарядка за принципом «наїзд» - це розробка, яка можливо, буде корисна для прогресу в створенні електричного транспортного засобу. Принцип такої зарядки показаний рис. 15.13. Котушка, яка формує вторинну обмотку трансформатора, поміщена на автомобіль у підходящому положенні. Первинна обмотка трансформатора

могла б бути поміщена в рухливу штангу» яка після паркування транспортного засобу автоматично піднімається до рівня вторинної обмотки й забезпечує магнітний зв'язок із вторинною обмоткою.



Рисунок 15.13 - Індуктивна зарядка могла б допомогти розвитку електричних транспортних засобів

### Система батарей ZOXY - «chemTEK»

Цинко-повітряна батарея ZOXY, фактично, не є батареєю в традиційному сенсі. Ядро батареї ZOXY «P280» - єдиний, зручний для використання й гнучкий модуль. Габарити батареї становлять 220x135x39 мм, і вона важить тільки 2 кг. Щільність енергії батареї 150 (Вт·ч)/кг - це у п'ять разів більше щільності свинцево-кислотних батарей.

Батарея ZOXY буде тримати, свій заряд протягом дуже довгого періоду, його типова втрата енергії не перевищує 1 %. Якщо подача повітря переривається, саморозряд падає трохи нижче 1 %. Інша перевага системи ZOXY полягає в тому, що вона працює в широкому температурному діапазоні, від -20°C до +40 °C.

Хоча об'єм виробництва таких батарей на сьогоднішній час невеликий, витрати на виготовлення ZOXY дорівнюють витратам на звичайні свинцево-кислотні батареї в перерахуванні на один енергетичний модуль. А при економії коштів за рахунок росту обсягів виробництва, вартість батареї ZOXY впала б значно нижче вартості її свинцево-кислотного аналога.

У той час як цинко-повітряна батарея ZOXY є «високоенергетичним резервуаром», додатковий «прискорювач» міг би використовуватися для потужного прискорення автомобіля, щоб гарантувати його оптимальні характеристики. Додаткова батарея забезпечує потужність, необхідну для прискорення транспортного засобу. Більш висока швидкість руху може зажадати від автомобіля можливості досить

швидко влитися в транспортний потік. З іншого боку, міський рух - це рух з більш повільним темпом, і вимоги до прискорення в ньому значно зменшуються.

Каскадна система, у якій використовуються дві батареї, є чудовим способом передбачити ці та інші потреби водіння. Електронна система керування могла б керувати обома типами батарей без участі водія транспортного засобу, навіть без попередження його про початок дії. Особливості водіння при використанні такої системи подібні водінню автомобіля, оснащеного системами бензин/газ і дизельним двигуном.

Характеристики P280:

- збільшений час роботи (щільність енергії 150 (Вт/ч)/кг);
- обсяг (33,0x13,5x3,9 см);
- вага (1,25/2,00 кг суха/заповнена);
- стабільна крива розряду, низький рівень саморозряду;
- низька чутливість до температурних змін (від -20 до +40°C);
- нешкідливість до навколишнього середовища;
- напруга «номінал / розряджена» 1,1/0,6 В;
- номінальний струм / піковий струм 0 - 30/40 А;
- ємність при навантаженні 10/20 А - 320/280 А/год;
- запас енергії при навантаженні 10/20 А - 300/ 250 Вт/год.

**Гібрид Ford Escape** (рис. 15.14), був першим гібридом запущеним у серійне виробництво на початку серпня 2004 р., і став одним із самих економічних і практичних автомобілів SUV (Super Ultra Vehicle) на ринку. Гібрид Escape забезпечував витрати палива менше 6 л на 100 км (за амер. стандартом - це пробіг 35-40 миль на галон) при міському русі.

Тоді він одразу задовольняв інструкціям регулювання емісії Євро IV у Європі, навіть раніше ніж вони набули чинності в 2004 р., і пройшов сертифікацію стандартів штату Каліфорнія як автомобіль із супер низькою емісією SULEV (Super Ultra Low Emission Vehicle) і як автомобіль із практично нульовою емісією PZEV (Partial Zero Emission Vehicle).

Гібрид Escape був розроблений так, щоб забезпечити той самий час прискорення й функціональні можливості, що й модель із двигуном V-6 на 200 к.с. Він використовував комбінацію паливо-зберігаючого циклу Аткінсона, бензиновий двигун із чотирма циліндрами й електричний мотор.



Рисунок 15.14 - Гібрид Ford Escape

В результаті була досягнута в середньому вдвічі більша економія палива, ніж у бензиновій моделі V-6 Escape. Використовуючи регенеративне гальмування, гібрид повертає істотну частину того, що в іншому випадку було б просто «загубленою енергією». Гібрид Escape - це повний гібрид, здатний рухатися на приводі від двигуна внутрішнього згоряння і/або від електричного мотора - в залежності від того, що дає найбільш ефективну економію палива.

До речі, двигун Аткінсона є фактично двигуном із циклом Отто, але з відмінним методом приєднання поршня до колінчатого вала. Особливий устрій важелів колінвала дозволяє двигуну Аткінсона циклічно проходити всі чотири такти поршня тільки за один оберт колінчастого вала. Це дозволяє зробити ходи поршня різної довжини: такти впуску й випуску мають хід більш довгий, ніж такти стиску й роботи.

Гібридні електричні транспортні засоби використовують комбінацію електричних акумуляторних батарей і двигуна внутрішнього згоряння, щоб підвищити ефективність роботи.

Батареї дають електрику, щоб пускати в хід електричний тяговий мотор, а двигун включається в роботу в міру необхідності, щоб перезаряджати батареї або забезпечувати додаткову потужність для прискорення. Гібрид Escape має електричну трансмісію й паливозберігаючий чотирициліндровий двигун.

При наявності регенеративного гальмування й здатності двигуна до практично миттєвої зупинки в режимі старт-стоп (завдяки потужному комбінованому стартер-генератору), гібрид Escape з переднім приводом коліс, забезпечував пробіг 14,7-16,8 км на літр палива (35-40 миль на галон) в міському циклі руху. Мотор-генератор зупиняє двигун внутрішнього згоряння, коли транспортний засіб котиться (із заблокованим двигуном) або зупиняється, це забезпечує економію палива, яке зазвичай витрачається на підтримку холостого ходу.

Як тільки потрібна додаткова потужність, наприклад, коли водій натискає на педаль акселератора під час зупинки, мотор-генератор, поміщений між двигуном і передачею, миттєво запускає двигун (менше ніж за 0,2 с). Модель гібриду Ford Escape 2004 р., була здатна проїхати більше 800 км (500 миль) на одному баку палива.

Модель Ford Focus PZEV 2003 р., являв собою автомобіль із практично нульовою емісією (рис. 15.15), і без погіршення якості роботи відповідав жорсткому стандарту штату Каліфорнія на частково нульову емісію. Він приводився в дію чотирьохциліндровим двигуном з об'ємом 2,3 л і мав потужність на валу 148 к.с. (110 кВт) і крутний момент 206 Нм (рис. 15.16).

Модель Focus FCV була першим в автомобільній промисловості «гібридним автомобілем із паливним елементом». Модель мала збільшений пробіг і демонструвала якісну роботу гібридної силової установки, яка використовувала повний набір переваг від застосування паливного елемента (рис. 15.16).

П'ять з 15 автомобілів, вироблених у 2002 р., довгий час перебували у стадії спільних досліджень із ключовими клієнтами. Ці дослідження забезпечили компанії Ford зворотний зв'язок у реальному часі про параметри моделей, призначених для постановки на виробництво.

Інші 10 автомобілів проходили стандартні випробування за власними програмами компанії Ford, які включали перевірку емісії і краш-тести. Focus FCV показав 250-320 км (160-200 миль) робочого пробігу на одному заправленні - істотне збільшення щодо попередніх моделей транспортних засобів з паливними елементами.

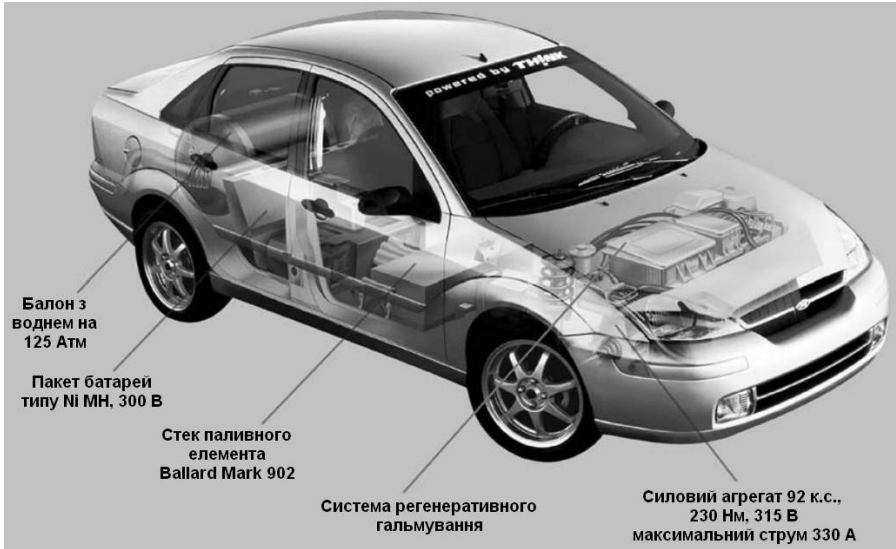


Рисунок 15.15 - Гібрид Ford Focus

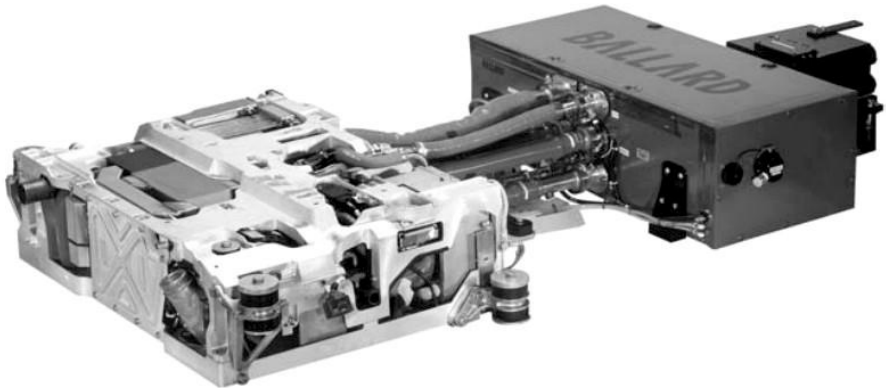


Рисунок 15.16 - Силова установка гібрида Ford Focus

Показники цієї моделі були порівняні зі звичайними бензиновими моделями, у яких максимальна швидкість досягала тільки 80 миль/год (130 км/год).

### **Двигуни в колесах - електромобілі GM.**

Інженери компанії GM, ще на початку 2000-х розробили потенційно видатну технологію, названу ними «моторами на осях коліс».

Розвиток цієї технології міг би принципово допомогти споживачам прийняти передові технології транспортних засобів. Два мотори на осях коліс, позаду передньоприводного транспортного засобу із чотирьохциліндровим бензиновим двигуном, можуть збільшити крутний момент при старті до 60 %. Крім того, додатковий крутний момент з'являється негайно. Це означає, що чотирициліндровий двигун міг би бути виконаний з характеристиками двигуна із шістьма циліндрами. Мотори на осях коліс розвивають потужність приблизно до 25 кВт і важать 15 кг кожний.

Традиційні транспортні засоби передають енергію від двигуна до коліс за допомогою механізму зчеплення, коробки передач і карданних валів. Більше 10 % потужності, виробленої двигуном, губиться в цьому процесі передачі крутного моменту.

Система GM використовує гібридний електричний транспортний засіб, щоб згенерувати електроенергію, яка направляєтсья безпосередньо до моторів. Це мінімізує обсяг загубленої енергії. Мотори на осях коліс створюють крутний момент, який доступний миттєво й повністю, тоді як звичайним двигунам потрібен час, щоб розігнатися.

Мотори на осях коліс, крім цього, дозволяють створити більш високий рівень тяги і контролю проковзуванні коліс, поліпшити рулювання й показники роботи транспортного засобу. Здатність керувати кожним колесом окремо зі значно кращою реакцією, чим це можуть зробити існуючі системи керування тягою, приносить додаткові вигоди. Наприклад, автомобіль що потрапив у багнюку, буде легко зрушити з місця лише застосувавши тягове зусилля до шини, яка має краще зчеплення з дорогою!

### **Інфраструктура водню.**

Чому саме водень? Тому що вважається що одним з видів палива майбутнього буде саме водень, оскільки він робить нульову емісію, особливо коли використовується в паливних елементах.

Тоді відразу виникає закономірне питання - а чим водневі авто кращі за електромобілі? Але питання в такій постановці не зовсім коректне. Справа в тому, що і автомобіль на водні, з паливною коміркою, і «чистий» електрокар - це електромобілі. Просто в одному випадку машину заправляють воднем, у другому - електрикою.

Трохи історії. Винайшов двигун внутрішнього згорання, що працює на водні, Франсуа Ісак де Ріваз (1752-1828) ще в 1806 році. Водень він отримував за допомогою електролізу води. Поршневий

двигун, який створив винахідник, називають машиною де Ріваза (De Rivaz engine). Запалювання було іскровим, двигун мав шатунно-поршкову систему роботи. Ну а циліндр приводився в рух детонацією суміші водню і кисню, електричною іскрою - її доводилося генерувати вручну в момент опускання поршня. Через два роки цей же винахідник побудував вже саморушійний пристрій з водневим двигуном.

У СРСР, під час війни, в блокадному Ленінграді бензин був у дефіциті, але водень був у великій кількості (для заправлення аеростатів). Тому військовий технік Борис Шелищ запропонував використовувати повітряно-водневу суміш для роботи двигунів внутрішнього згоряння приводу лебідок загороджувальних аеростатів. Під час блокади, в місті на водні працювало близько 600 автомобілів ГАЗ.

Починаючи з 1980-х відразу в декількох країнах, включаючи США, Японію, Німеччину, СРСР і Канаду, стартувало експериментальне виробництво по створенню автомобілів, що працюють на водні, бензино-водневих сумішах і сумішах водню з природним газом.

Протягом багатьох років такі автомобілі розробляли в різних країнах здебільшого в якості експерименту. Після того, як концепція «зеленого» автомобіля стала популярною (ще задовго до Грети Тунберг), автомобілями на водні зацікавилися великі корпорації на зразок Toyota. Починаючи з 2000-х, автомобільні компанії стали розробляти концепти комерційних авто. Станом на листопад 2019 року, водневі машини розробляють Honda, Toyota, Mercedes-Benz і Hyundai - у цих компаній вже є готові для серійного виробництва транспортні засоби.



Рисунок 15.17 - Водневий Mercedes-Benz GLC F-CELL

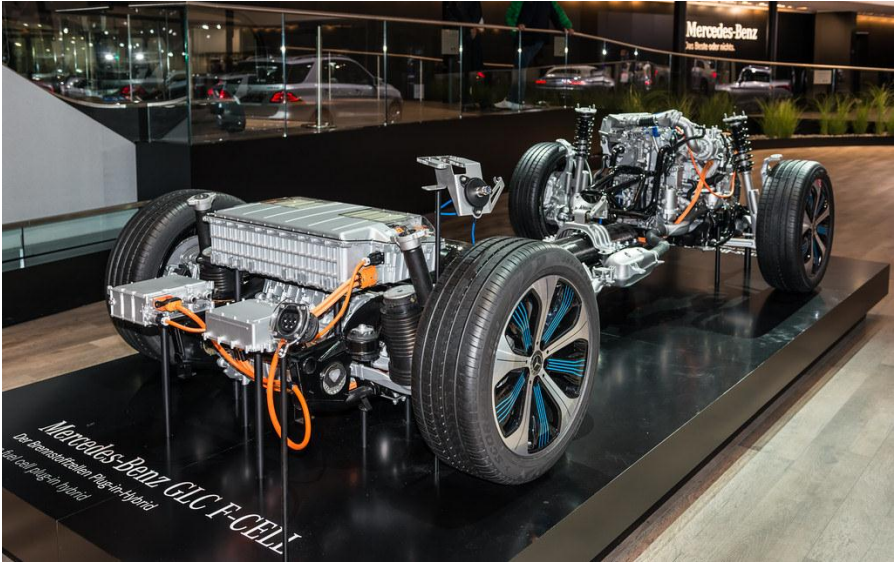


Рисунок 15.18 - Устрій водневого Mercedes-Benz GLC F-CELL

Інші показують поки що лише концепти (втім, робочі), або взагалі просто красиві відрендерені 3D-картинки. До числа перших можна віднести Audi і Ford, до числа другого - BMW (справедливості заради треба сказати, що в 2007 році BMW випустила партію зі 100 експериментальних «водневих» моделей, які так і залишилися експериментом) і Lexus.



Рисунок 15.19 - Експериментальний BMW Hydrogen 7

У серію запущені поки лише Toyota Mirai і Honda Clarity. Їх можна придбати в США і Європі. На даний момент водневі автомобілі трохи дорожче звичайних у плані експлуатації. Так, при поїздки в Європі протяжністю 480 км витрати на паливе для власника звичайної машини складуть приблизно \$ 45, а от власник Mirai заплатить близько \$ 57. І це при тому, що уряд деяких країн субсидує виробництво водню для машин. Вартість 1 кг водню становить в середньому \$ 11,45 (ціни на листопад 2019 р.).

А оскільки наші можновладці неодноразово наголошували що «Україна - це Європа!», то нас перш за все цікавлять розробки провідної автобудівної країни світу - Німеччини. А в ній останнім часом швидко зростає інтерес до водню ( $H_2$ ). Але чи є цей екологічний енергоносіє перспективним паливом для автомобілів? Думки з цього приводу розійшлися, причому на подив різко. З одного боку - міністр транспорту ФРН Андреас Шойер (Andreas Scheuer), на конференції «Водень і енергетичний поворот» в Берліні 5 листопада 2019 року, неспо-

дівано для багатьох заявив: «У 2021-2022 роках по дорогах країни повинні їздити 60 тисяч водневих автомобілів. Автомобільна промисловість повинна вивести на ринок доступні автомобілі і показати людям, що ця техніка надійно працює». Станом на 1 січня 2019 року в Німеччині було зареєстровано менше 400 водневих автомобілів.



Рисунок 15.20 - На Франкфуртському автосалоні 2019 поруч з BMW i Hydrogen Next демонструвався паливний елемент

З іншого боку - глава концерну Volkswagen, Герберт Діс (Herbert Diess), рівно за добу до майже ультимативної вимоги міністра, виступив на церемонії початку серійного виробництва першого «народного електромобіля» VW ID.3. У своїй промові він зупинився і на водневій технології: «Її час настане не в майбутньому, а лише в наступному десятилітті (в 2030-х роках), проте її стануть застосовувати переважною мірою інші види транспорту - вантажні автомобілі, поїзди, суда».

Іншими словами, найбільші автобудівники Німеччини (і світу) навіть не думають виконувати вимогу міністра - Volkswagen цілком зробив ставку на електромобілі. Повністю електричних легкових машин в ФРН було на 1 січня 2019 року в цілому понад 83 тис. До них можна додати більше 340 тисяч гібридів, з яких 67 тисяч були плагін-гібридами (ті що заряджають від розетки).

Увечері того ж 4 листопада в Берліні пройшла зустріч канцлера

Ангели Меркель (Angela Merkel) з керівниками німецького автопрому, на якій обговорювався розвиток електромобільності в Німеччині. Прийняте одне з рішень чітко вказує: в найближчі два роки встановити по всій країні 50 тисяч нових загальнодоступних зарядних станцій.

Зараз їх близько 21 тисячі, і вважається, що це вкрай мало для широкого впровадження автомобілів на електричній тязі. Уряд ФРН ставить завдання до 2030 року довести число станцій до 1 мільйона.

А на наступний день після участі в цій зустрічі Андреас Шойер («вчора воднева тема була, звичайно, не пріоритетною») на конференції щодо водню, не без гордості повідомив, що «навесні 2020 року в нас в Німеччині буде вже 100 водневих заправних станцій, а до 2021 року до них повинні додатися ще 15».

Відповідну заяву про наміри міністр підписав зі спільним підприємством H<sub>2</sub>Mobility, в яке поряд з такими енергетичними компаніями, як Shell і Total, входить і німецький автобудівник Daimler. Він з минулого року малими партіями випускає Mercedes GLC F-Cell, який в семи німецьких містах вже можна взяти в лізинг.

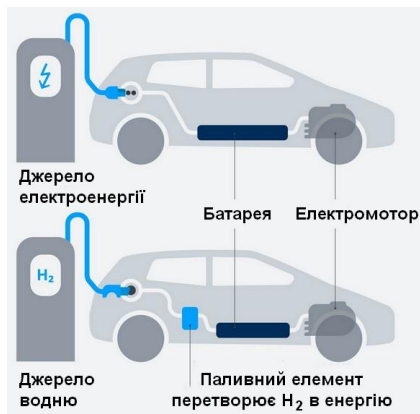


Рисунок 15.21 - Два електромобіля, дві системи

А у вересні на Франкфуртському автосалоні 2019 була представлена модель BMW і Hydrogen Next, виробництво якої, знову-таки малими партіями, баварський автоконцерн почне в 2022 році. Всі ці цифри показують, який в даний момент на німецькому ринку розклад сил між двома екологічними альтернативами автотранспорту з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) - між електромобілями, які працюють від акумуляторних батарей (BEV), і водневими автомобілями (FCEV), в яких енергія для електромотора виробляється в ході

реакції H<sub>2</sub> з киснем в паливних елементах. У такій ситуації автомобільна промисловість Німеччини однозначно зробила вибір на користь електромобілів, підкреслив президент Об'єднання німецької автомобільної промисловості (VDA) Бернхард Маттес (Bernhard Mattes), на конференції Handelsblatt Auto-Gipfel 2019 що відбулася в кінці жовтня

в Штутгарті. «На інших континентах», додав він, «можуть зробити ставку і на інші технології (він мав на увазі «водневі» плани Японії і Південної Кореї), але Європі, на його думку, створення розгалуженої інфраструктури одночасно для декількох видів альтернативних двигунів фінансово просто не потягнути.

На цій галузевій конференції автобудівники та їх постачальники обговорювали перспективи німецького і світового автопрому, і мова, дійсно, йшла головним чином про гібриди і електромобілі. Однак дві доповіді були присвячені водневим автомобілям. Вельми показово, що з ними виступили представники двох азіатських фірм.

Віце-президент з наукових досліджень і розробок європейського відділення Toyota Геральд Кільман (Gerald Killmann) повідомив, що ця японська компанія в десять разів збільшить випуск водневого автомобіля Toyota Mirai. Привів він і абсолютні цифри: до сих пір щорічно випускалися 3 тисячі одиниць, обсяги виробництва нового покоління цієї моделі вирішено збільшити до 30 тисяч в рік (для порівняння: в 2018 році компанія продала по всьому світу в цілому понад 10,5 мільйонів автомобілів). При цьому менеджер нагадав історію успіху першого в світі серійного гібридного автомобіля Toyota Prius.



Рисунок 15.22 - Оновлений дизайн японського водневого Toyota Mirai



Рисунок 15.23 - Випуск водневого автомобіля Mirai на одній з японських фабрик компанії Toyota

Перше покоління, яке стартувало в 1997 році, було збитковим, друге, за його словами, пішло вже краще, «третє забезпечило хороший прибуток, сьогодні понад половину продаваних нами в Європі автомобілів - це гібриди. Щось подібне може статися і з водневою технологією», переконаний Геральд Кільман.

Основними потенційними покупцями моделі Toyota Mirai він вважає таксомоторні компанії, сервіси перевезення VIP-пасажирів, парки службових машин фірм і відомств. І справа тут не тільки у високій ціні (в Німеччині цей водневий автомобіль коштує близько 80 тисяч євро).

Компанія Toyota виходить з того, розповів Геральд Кільман, що середньому покупцеві більше підходять електромобілі: у нього машина вночі і значну частину дня зазвичай простоює, так що є час її зарядити. «У водневої технології перспективи швидше в професійній сфері, там, де автомобіль повинен працювати цілодобово або перевозити вантажі», - зазначив доповідач і вказав на вирішальні переваги машин на паливних елементах: заправка триває 3-5 хвилин, а дальність пробігу становить понад 500 кілометрів.

Таким чином, два лідери світової автомобільної промисловості, Volkswagen і Toyota, практично сходяться в тому, що водень отримає

широке поширення на вантажному автотранспорті. Розходяться вони лише в оцінці термінів. І це явно пов'язано з тим, що в Японії вже діє узгоджений між урядом, автобудівниками і інфраструктурними компаніями план до 2030 року довести число водневих автомобілів на дорогах країни до 800 тисяч. А в Німеччині є урядовий план до того ж часу довести число електромобілів до 7-10,5 мільйонів.

Тим часом в Південній Кореї стартував пілотний проект з переведення на водень відразу трьох міст. Мова не тільки про автомобільний транспорт, а й про електроенергетику та тепlopостачання, і Hyundai буде поставляти туди свої паливні елементи, розповів в Штутгарті представник німецького відділення цієї південнокорейської компанії Олівер Гут (Oliver Gutt). Одночасно вона нарощує випуск водневого позашляховика Hyundai Nexo (ціна в Німеччині: близько 70 тисяч євро), який почався в 2018 році, так і H<sub>2</sub>-вантажівок.



Рисунок 15.24 - Південнокорейський водневий автомобіль Hyundai Nexo на Франкфуртському автосалоні 2019

Зараз Hyundai, продовжив Олівер Гут, приступає до виконання замовлення, отриманого зі Швейцарії: протягом п'яти років туди будуть поставлені 1600 працюючих на паливних елементах вантажівок,

в яких з екологічних (і, відповідно, іміджевих) міркувань зацікавлені, зокрема, великі мережі супермаркетів. Правда, альпійській республіці належить ще побудувати відповідні заправні станції.

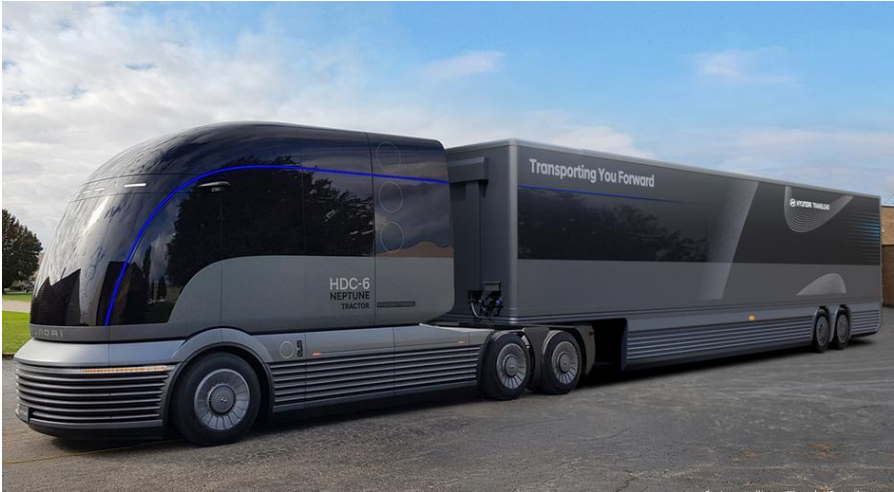


Рисунок 15.25 - Прототип безпілотного водневого вантажного автомобіля південнокорейської компанії Hyundai

Олівер Гут порекомендував стежити за розвитком мережі водневих заправок в Європі на німецькому сайті h2.live. Там відразу ж впадає в очі: Німеччина зі своїми 100 станціями є безперечним європейським лідером. Або, інакше кажучи: в інших країнах континенту інфраструктура для водню розвинена ще менше.

Принципово важливим є також питання, звідки береться водень. Виробляти його з вуглеводнів, наприклад, з природного газу, з економічної точки зору видається не дуже виправданим, адже в такому випадку автомобілі можна було б безпосередньо заправляти компримованим (CNG) або зрідженим природним газом (LNG).

З точки зору екології і захисту клімату сенс має тільки «зелений» водень, отриманий із звичайної води методом електролізу з використанням надлишкової електроенергії вітряних і сонячних електростанцій. Але широке промислове впровадження експериментально вже апробованої технології Power to Gas тільки починається. Правда, уряд ФРН твердо має намір форсувати цей процес.

Виступаючи разом з Андреасом Шойер на конференції в Берліні, міністр економіки і енергетики ФРН Петер Альтмайер (Peter Altmaier) заявив: «Ми хочемо, щоб Німеччина стала в області водневих технологій номером 1 в світі». Наскільки реалістичним є цей лозунг в автомобільній сфері, покаже час. Але найперші в світі водневі поїзди почали перевозити пасажирів саме в ФРН.

### **Електромобілі Tesla.**

Нікола Тесла - легендарний творець в області електро- і радіотехніки, творець змінного струму. У його честь, в 2003 році, була відкрита компанія з виробництва автомобілів, які їздять на електриці.

Засновником автомобільної компанії Tesla стали Ілон Маск, Джей Бі Штробель і Марк Тарпеннінг. Перш за все, засновникам компанії необхідно було розробити потужний електродвигун і батареї, щоб привести в роботу ведучі колеса. Для створення першого прототипу автомобіля знадобилося майже 3 роки.

Перший електрокар Tesla Roadster був презентований 19 липня 2006 року. Презентація автомобіля пройшла успішно, але спортивний електричний автомобіль мав ряд недоліків. Потім 2009 року, в Німеччині, на Франкфуртському автосалоні, вперше був показаний прототип 5-дверної Model S, і тільки в 2012 році з конвеєра компанії зійшов перший автомобіль цієї моделі; проте ті ж самі електродвигуни, але з невеликими доробками і сьогодні встановлюються на моделі Tesla.



Рисунок 15.26 - Tesla Model S

На даний момент Tesla Model S є «обличчям компанії» і вирізняється не лише своєю ціною та «інноваційними рішеннями» в електроустаткуванні, а й будовою кузова та підходом до використання різноманітних матеріалів.

Весь кузов електромобіля зроблений з алюмінію. Цікаво, що кузовні деталі сполучені між собою не точковою зваркою, а іншими типами з'єднання – клеєм, заклепками та кріпленнями.

Безпека такого кузова після краш-тестів Euro NCAP (The European New Car Assessment Programme - європейський комітет з проведення незалежних краш-тестів авто з оцінкою активної безпеки і пасивної безпеки) оцінена у найвищий бал - 5 зірок.

Це значне досягнення, оскільки з 2010 року EuroNCAP досить серйозно переглянула критерії оцінки безпеки автомобілів. Підхід до тестування автомобілів став набагато жорсткішим. Оскільки до старих правил EuroNCAP виробники вже давно звикли і розробляли структуру кузова спеціально під них. Посилена жорсткість правил призвела до того, що в 2010 році, 5 зірок отримали тільки 65 % випробуваних автомобілів, а не 90 % як раніше.

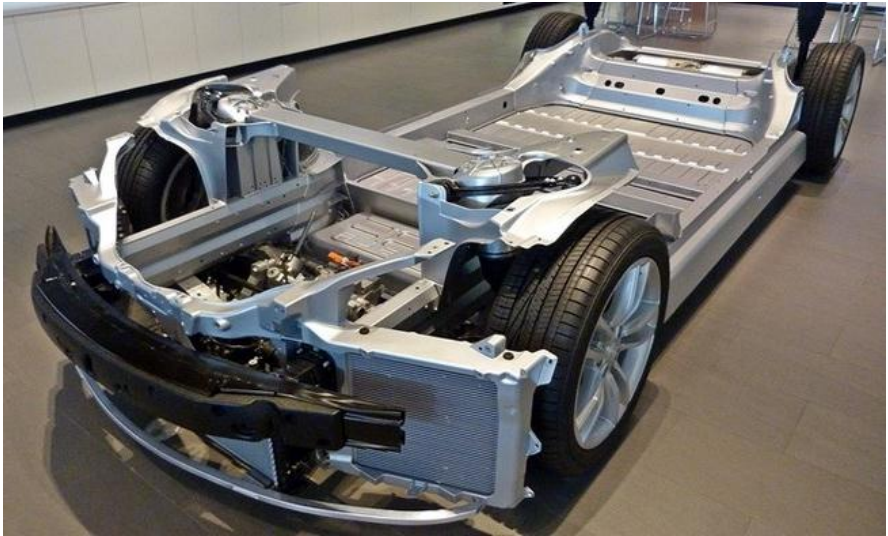


Рисунок 15.27 - Елементи безпеки головної частини кузова Tesla

У Tesla вищий рейтинг безпеки досягається за рахунок конструкції кузовної частини електрокара. Відсутність мотора і навісних агрегатів

гатів під капотом і в задній частині авто, дозволяє кузову утворити міцну «капсулу», яка доповнює міцність всього кузова за рахунок батареї, розташованої уздовж всього днища автомобіля.

Спосіб сполучення елементів кузова між собою залежить від частини машини й навантаження на деталі, та її контакту із вологою. У районі скріплення багатьох деталей спочатку наносять клей, потім ці два елементи стискають спеціальним пресом, а на додаток ще й заклепують. Таке з'єднання не лише міцне, а ще й не накопичує вологи.

З внутрішнього боку кузов добре обклеєний шумоізоляцією. Пластик салону переважно м'який, хоча після значного пробігу починає скрипіти. Бічні вікна дверей встановлені без звичної для європейських моделей рамки. Тут вона не потрібна, жорсткості кузова вистачає й без неї. Як тільки двері машини зачиняються, бічне скло доводиться автоматично вгору, це щоб забезпечити максимальну герметичність.

Електродвигун є власною розробкою компанії Tesla Motors і не має аналогів. Цей трифазний, чотириполюсний, асинхронний двигун змінного струму, за словами самих розробників є «найпотужнішим електромотором в світі», і в різних варіантах має такі показники потужності (кВт) / крутного моменту (Нм): 225/430, 270/440 і 310/600.



Рисунок 15.28 - Електродвигун Tesla

Максимальна швидкість авто становить 250 км/год, а розігнати автомобіль до 100 км/год можна всього за 2,7 с (у разі топової ком-

плектації) - це означає що затримка між натисканням на педаль газу і подачею потужності майже нульова, оскільки непотрібен час на подачу палива і перетворення його в обертання коліс.

Інженери стверджують, що ефективність перетворення енергії в рух такою силовою установкою в 3 рази вища, ніж у стандартного двигуна внутрішнього згоряння.

Електродвигун працює по простому індукційному принципу, який використовується в масі побутових приладів. На котушки в статорі подається змінний струм, а завдяки електромагнітній індукції в рух приводиться ротор. Електромотор охолоджується за допомогою рідкої системи охолодження.

Літій-іонна батарея складається з 16 блоків, а це від 5040 до 7104 елементів живлення відповідно. Батарея розташовується уздовж всього днища автомобіля. Таке розташування акумулятора, в поєднанні з легким кузовом з алюмінію, не тільки дозволяє максимально знизити центр ваги автомобіля (на рівні в 45 см, що дуже низько), а й додатково підвищує торсіонну жорсткість кузова, а отже і безпеку.



Рисунок 15.29 - Устрій батареї Tesla з елементами живлення Panasonic

А як відомо, чим нижче центр ваги, тим краще керованість і поведінка на поворотах. В результаті розподіл навантаження між перед-

ньою і задньою осями складає 47 до 53.



Рисунок 15.30 - Акумулятор автомобіля Tesla Model S

Ємність акумулятора дає середній запас ходу від 330 до 632 км, тобто такий запас ходу дозволяє Tesla входити в «Топ-10» електрокарів світу за запасом ходу. Час його повної зарядки становить 8 годин.

Виробник наводить «порівняльні» дані часу зарядки батареї:

- від побутової мережі змінного струму 110 В за 1 годину заповнюється 8 км шляху;
- від побутової мережі змінного струму 220В за 1 годину заповнюється 50 км шляху;
- повна зарядка на станції Tesla Supercharger займає всього 30 хвилин (безкоштовно).

Втім, в 2013 році Tesla продемонструвала можливість повної заміни батарей на заряджені всього за 90 секунд! Приблизно такий же час необхідний для заправки бензином. Коштувати така процедура на станціях Tesla буде приблизно \$ 60-80, що порівняно з повним баком палива. У той же час зарядка батареї від мережі на фірмових станціях для всіх власників Tesla безкоштовна.

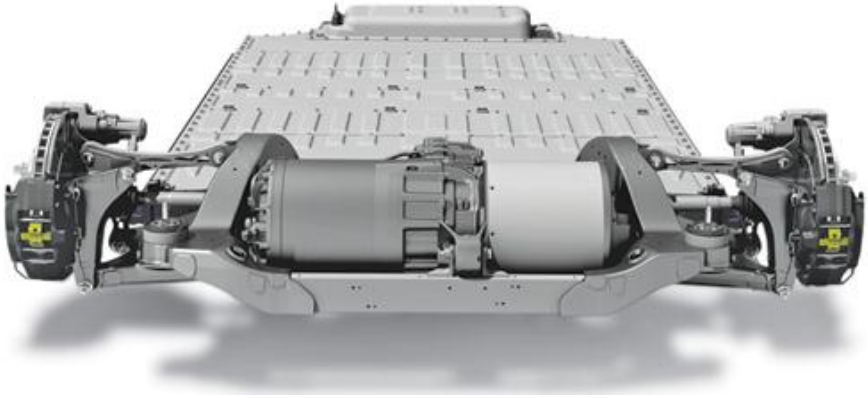


Рисунок 15.31 - Двигун, батарея та елементи привода Tesla Model S

Варто також відзначити, що акумулятор Tesla Model S має вкрай високу щільність заряду (подібні акумулятори використовують в ноутбуках). Високий ресурс батареї досягається за рахунок сучасної системи рідкого охолодження системи, яка також охолоджує і сам мотор.

Вага батареї складає 450 кг, а її ресурс становить 7 років або 160 тис. км пробігу. До слова, виробництвом батарей займається компанія Panasonic.

Повноприводна Tesla має два незалежних електродвигуна. На відміну від традиційних повнопривідних систем, ці два мотори управляють крутним моментом на передніх і задніх колесах незалежно, що значно поліпшує керуваність і контроль тяги.

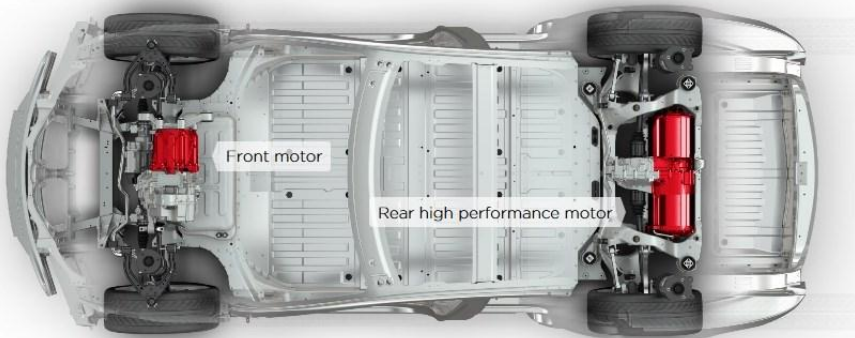


Рисунок 15.32 - Розміщення електромоторів приводу

Отже машина може рухатися на будь-якому моторі, тому не потрібно турбуватися про застрягання на дорозі. Якщо один з двигунів перестав працювати, можна безпечно повернутися до місця призначення на другому.

Tesla Model S має надійну трансмісію від компанії Mercedes-Benz, яка призводить автомобіль в рух за допомогою одноступінчатого редуктора (одна швидкість). Передавальне число редуктора 9.73.

Ходова частина Tesla Model S має пневматичну підвіску, яка здатна змінювати просвіт авто, досить задати бажаний кліренс і машина підніметься або опуститься за бажанням водія. Причому саме за рахунок заниженого центру ваги, автомобіль впевнено себе почуває навіть з пристойним кліренсом «а ля Тігуан».



Рисунок 15.33 - Підвіска і ходова частина Tesla Model S

Рульове управління рейкове і само собою має електропідсилювач. Бортовий комп'ютер дозволяє задавати жорсткість керма. Є кілька рівнів, починаючи від спортивного жорсткого і закінчуючи комфортним «мерседесівськи» м'яким.

Гальмівна система Tesla Model S гідна окремої уваги. Основна гальмівна система складається з металевих вентиляваних гальмівних дисків і електронної системи стоянкового гальма. Але основна «фішка» цього електрокара - рекуперативна система гальмування.

З її допомогою автомобіль здатний гальмувати двигуном і перетворювати одержувану енергію в електрику, заряджаючи тим самим акумулятор автомобіля. Це вкрай корисна і зручна функція. Щоб активувати рекуперативну систему гальмування, водієві необхідно прос-

то плавно відпустити педаль газу і електрокар сам почне пригальмувати перетворюючи енергію гальмування в корисну енергію. Тобто система рекуперації дозволяє майже не користуватися педаллю гальма в міських умовах.

### Питання для самоперевірки

1. Що стало причиною розробки гібридних приводів автомобілів?
2. Дайте визначення, що означає ZEV.
3. Опишіть коротко термін «гібрид».
4. Поясніть, що таке індуктивна зарядка і в чому її переваги.
5. Опишіть за допомогою ескізів різні способи, якими можна скомпонувати гібридний транспортний засіб.
6. Поясніть термін «щільність потужності».
7. Перелічіть п'ять типів батарей електромобіля.
8. Чому електромобіль GM EV-1 використовує свинцево-кислотні або лужні батареї. Обґрунтуйте три причини цього.
9. Опишіть за допомогою ескізу дію синхронного електромотора.
10. Дайте обґрунтування чотирьом типам приводного мотора для електромобіля.
11. Опишіть, як Nissan Altra обчислює поточний пробіг автомобіля.
12. Які є проблемні області технологій проектування і виробництва тягових електродвигунів для електромобілів?
13. Намалюйте загальну блок-схему електричного автомобіля та поясніть принцип її роботи.
14. Які недоліки натрій-сірчаної батареї?
15. Які переваги й недоліки використання мотору постійного струму на електричних транспортних засобах?
16. Як працює регенеративна гальмівна система?
17. Які переваги газової турбіни в якості двигуна автомобіля?
18. Які є технічні проблеми створення гібрида з газовою турбіною?
19. Як працює індуктивна зарядка за принципом «наїзд»?
20. Які переваги використання водню в якості палива?
21. Назвіть складові частини водневої силової установки автомобіля.
22. Які є методи одержання водню?
23. Які перспективи транспортних засобів із водневими силовими установками?

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА****Базова**

1. Мигаль В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления : учеб. пособ. Харьков : Майдан, 2016. 320 с.
2. Бажинов О. В., Двадненко В. Я., Хакім М. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. Харків : ХНАДУ, 2014. 160 с.
3. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
4. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
5. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles. New York, NY : Routledge, 2016. 207 p.
6. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics : an engineering perspective. Cambridge, MA : Butterworth-Heinemann, 2017. 712 p.
7. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.

**Допоміжна**

8. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
9. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник. К. : Каравела, 2008. 400 с.
10. Мазепа С. С., Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля : навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 168 с.
11. Автомобильный справочник Bosch. М. : За рулем, 2012. 1280 с.
12. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные системы управления автотракторных двигателей. Спб. : Лань, 2016. 200 с.
13. Головин С. И., Жосан А. А., Рыжов Ю. Н. Электронные системы управления работой дизельных двигателей : учебное пособие. Орел : ОрелГАУ, 2014. 189 с.
14. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные

- системы управления бензиновых двигателей : учебное пособие. М. : КНОРУС, 2011. 96 с.
15. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
  16. Сергеев Н. Н., Сергеев А. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электронные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156с.
  17. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
  18. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 1. Электронные системы зажигания. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 240 с.
  19. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. Электронные системы зажигания. Катушки зажигания, датчики, октан-корректоры, контроллеры. М. : АНТЕЛКОМ, 2004. 224 с.
  20. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 3. Системы автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода (САУ ЭПХХ) автомобилей. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 160 с.
  21. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 4. Системы световой сигнализации поворотов и аварийной сигнализации. Реле поворотов. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 192 с.
  22. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 5. Электронные системы зажигания. Контроллеры систем управления смесеобразованием, зажиганием, двигателем. М. : ДМК Пресс, 2006. 208 с.
  23. Карташевич А. Н., Белоусов В. А. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
  24. Котельников А. П. Мехатронные системы тормозного управления автомобилей. Екатеринбург : УрГУПС, 2011. 80 с.
  25. Черепанов Л. А. Автоматические системы автомобиля. Тольятти : ТГУ, 2006. 132 с.
  26. Кашкаров А. П. Автомобильные кондиционеры. М. : ДМК-Пресс,

2012. 112 с.

27. Демидов Н. Н., Красильников А. А., Элизов А. Д. Конструирование и расчет автомобилей и тракторов. Электромобили : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 96 с.
28. Jürgen Garcke, Eckhard Karden, Patrick T. Moseley. Lead-acid batteries for future automobiles. Amsterdam : Elsevier, 2017. 669 p.
29. Andreas Luescher. Urban shrinkage, industrial renewal and automotive plants. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 129 p.
30. Ashish Bharadwaj. Environmental regulations and innovation in advanced automobile technologies. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 119 p.
31. Chandan Deep Singh, Jaimal Singh Khamba. Manufacturing competency and strategic success in the automobile industry. New York, NY : CRC Press, 2019. 239 p.
32. Junxiu Wang. Development of a society on wheels. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 316 p.
33. Markus Mueck. Networking vehicles to everything evolving automotive solutions. Berlin : CPI books GmbH, 2018. 234 p.
34. Uwe Winkelhake. The digital transformation of the automotive industry catalysts, roadmap, practice. Wiesbaden : Springer, 2018. 317 p.
35. Vivek D. Bhise. Automotive product development. A systems engineering implementation. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 571 p.
36. Yi Wu. Achieving supply chain agility : information system integration. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 242 p.
37. Norton Robert. Automotive Milestones. The technological development of the automobile : who, what, when, where, and how it all works. South Norwalk, Connecticut : Industrial Press, Inc., 2016. 322 p.
38. Martin Thaddeus. Classic car electrics: tips, techniques & step-by-step repair, restoration & maintenance procedures. London : Veloce publishing, 2015. 299 p.
39. Konrad Reif. Brakes, brake control and driver assistance systems. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 284 p.
40. Daniele Fabrizio Bignami, Alberto Colorni Vitale, Alessandro Lué Roberto Nocerino. Electric vehicle sharing services for smarter cities. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 280 p.
41. Emanuele Crisostomi, Robert Shorten, Sonja Stüdl. Electric and plug-in hybrid vehicle networks : optimization and control. Boca Raton, FL : CRC Press, 2018. 261 p.

42. Gianfranco Pistoia, Boryann Liaw. Behaviour of lithium-ion batteries in electric vehicles : battery health, performance, safety, and cost. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 343 p.
43. John G. Hayes, Abas Goodarzi. Electric powertrain : energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2018. 557 p.
44. Harrop Peter, Das Raghu. Car traction batteries - the new gold rush 2010-2020. Cambridge, UK : IDTechEx, 2020. 271 p.
45. Lance Noel, Gerardo Zarazua de Rubens, Johannes Kester. Vehicle-to-Grid : a sociotechnical transition beyond electric mobility. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 271 p.
46. Larry E. Erickson, Jessica Robinson, Gary Brase. Solar powered charging infrastructure for electric vehicles. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 183 p.
47. Mehdi Rahmani-Andebili. Planning and operation of plug-in electric vehicles : technical, geographical, and social aspects. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 251 p.
48. Nam Kwang Hee. AC motor control and electrical vehicle applications. Boca Raton, FL : CRC Press, 2019. 575 p.
49. Ottorino Veneri. Technologies and applications for smart charging of electric and plug-in hybrid vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 323 p.
50. Patricia Egede. Environmental assessment of lightweight electric vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 141 p.
51. Philipp Bergmeir. Enhanced machine learning and data mining methods for analyzing large hybrid electric vehicle fleets based on load spectrum data. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 192 p.
52. Xiong Rui, Welxiang Shen. Advanced battery management technologies for electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2019. 390 p.
53. Teresa Donateo. Hybrid electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 154 p.
54. Wei Liu. Hybrid electric vehicle system modeling and control. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 582 p.
55. Zhongjing Ma. Decentralized charging coordination of large-scale plug-in electric vehicles in power systems. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2020. 252 p.

## Інформаційні ресурси

56. Автоэлектрика. URL: <https://www.12v-club.ru/articles/6/index.html> (дата звернення: 26.01.2020).
57. Зажигание. URL: <http://dimasen.narod.ru/zazhig/index.html> (дата звернення: 26.01.2020).
58. Системы зажигания автомобилей - общее устройство и типы. URL: <http://www.ardio.ru/ignsys.php> (дата звернення: 26.01.2020).
59. Плазменное зажигание. URL: <http://icarbio.ru/articles/plazmennoe-zazhiganie.html> (дата звернення: 26.01.2020).
60. Автомобильный ЧИП. Что это такое? URL: <https://smartkey.com.ua/blog/avtomobilnyj-chip> (дата звернення: 26.01.2020).
61. Эффективные средства защиты автомобиля от угона - иммобилайзер и сигнализация. URL: <https://labavto.com/elektronika/safe/immobilajzer-i-signalizatsiya/> (дата звернення: 26.01.2020).
62. Иммобилайзеры: штатный и дополнительный. Сравнение современных моделей. URL: <https://www.ugona.net/article/immobilajzery-shtatnyi-i-dopolnitelnyi-sravnienie-sovremennykh-modelei-33.html> (дата звернення: 26.01.2020).
63. Для чего тормозам система ABS. URL: <https://www.drive.ru/technic/4efb331400f11713001e38cb.html> (дата звернення: 26.01.2020).
64. Глобальные технические правила ООН № 8 - Электронные системы контроля устойчивости. URL: <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a8r.pdf> (дата звернення: 26.01.2020).
65. Круиз-контроль. URL: <http://www.zr.ru/archive/zr/1990/01/sovremiennaia-avtomobil-naia-tiekhnika> (дата звернення: 26.01.2020).
66. Спутниковая навигация в автомобиле. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/7341/> (дата звернення: 26.01.2020).
67. История развития электромобиля. URL: <https://efut.ru/a/65-istorija-razvitija-jelektromobilja.html> (дата звернення: 26.01.2020).
68. How car electrical systems work. URL: <https://www.howacarworks.com/basics/how-car-electrical-systems-work> (дата звернення: 26.01.2020).
69. How Brake Assist Works. URL: <http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/brake-assist.htm> (дата звернення: 26.01.2020).