

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ю.М. Бороденко

**ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

**розділ «Мехатронні системи приводу автомобіля»
для студентів спеціальності 141**

конспект лекцій

Затверджено методичною
радою університету
протокол № від .2019

Харків
ХНАДУ
2019

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

Рецензент: *Шуклінов С.М.*, д-р техн. наук, професор
(Національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ)).

Бороденко Ю.М. Електричні системи і комплекси транспортних засобів: розділ «Мехатронні системи приводу автомобіля». / Ю.М. Бороденко: конспект лекцій. – Харків: ХНАДУ, 2019. – 121 с.

Наведено загальні принципи побудування мехатронних систем. Дана характеристика об'єктів та систем керування автомобіля. Розглянуто способи реалізації керуючих впливів на агрегати привідної частини автомобіля за допомогою електричних виконавчих пристроїв промислових зразків. Наведено приклади структури та алгоритми функціонування мехатронних систем трансмісії провідних автовиробників.

Призначений для студентів електромеханічних спеціальностей автотранспортних навчальних закладів, корисний для інженерно-технічних працівників у сфері виробництва компонентів автомобільної електроніки та обслуговування автомобілів.

Іл. 86. Табл. 1. Бібліогр. 48 найм.

УДК 629.3.03: 621.38 (075)

Бороденко Ю.М.,
Харківський національний
автомобільно-дорожній
університет, 2019

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій складено у відповідності до робочої програми навчальної дисципліни «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» для підготовки бакалаврів в галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Конспект складається з трьох тем другої частини курсу загальним обсягом 16 год. Надані теми містять поновлений матеріал, що стосується загальних принципів побудування систем керування. Базовий матеріал викладено безвідносно до призначення мехатронної системи автомобіля. Теми присвячені мехатронним системам ДВЗ, як основному агрегату приводу автомобіля, розглядаються в окремому конспекті. Новий матеріал другої і третьої теми даного конспекту складено за оглядом інформації навчальної літератури, наукових досліджень та інтернет сторінок провідних автомобілебудівників.

Зміст матеріалу орієнтований на фахівців електромеханіків та для його опанування потрібні певні знання з спеціальних дисциплін (розділів), що передують за навчальним планом: устрій автомобіля, електрообладнання автомобілів, електричний привід, дискретні пристрої автоматики, системи автоматичного керування.

Методологія викладення матеріалу передбачає послідовність інформації: призначення та класифікація систем і їх складових; устрій компонентів; структура та функціонування систем; приклади сучасних систем промислових зразків; концептуальні технічні рішення з використанням сучасних технологій.

Для кращого засвоєння матеріалу, в конспекті наводяться структурні схеми та ілюстрації натуральних об'єктів. Текст конспекту супроводжується посиланнями на первинні та додаткові джерела інформації. Після кожної теми надано перелік контрольних запитань складених у форматі екзаменаційної атестації. Наприкінці конспекту наведено перелік прийнятих скорочень.

ЗМІСТ

Тема 1. Загальна характеристика мікропроцесорних систем керування.....	5
1.1. Особливості будови мехатронних систем.....	5
1.2. Призначення і класифікація систем керування.....	7
1.3. Характеристика периферійних пристроїв.....	14
1.4. Структура електронного блоку керування.....	16
1.5. Способи реалізації алгоритмів керування.....	19
Контрольні запитання.....	27
 Тема 2. Мехатронні системи трансмісії.....	 28
2.1. Класифікація і структура приводу автомобіля.....	28
2.2. Зчеплення і коробки перемикання передач.....	30
2.3. Передаточні муфти та роздаткові коробки.....	40
2.4. Диференціали різного призначення.....	48
2.5. Устрій і функціонування систем повного приводу..	61
Контрольні запитання.....	68
 Тема 3. Застосування альтернативних систем приводів....	 70
3.1. Класифікація концептуальних автомобілів.....	70
3.2. Конструкції і характеристики електродвигунів.....	72
3.3. Склад і структура електричного приводу автомобіля.....	76
3.4. Керування вентильними електричними машинами..	84
3.5. Структура гібридних силових установок з електричним приводом.....	90
3.6. Використання пневматичного приводу.....	99
3.7. Композиції пневматичних гібридних силових установок.....	106
Контрольні запитання.....	116
 Прийняті скорочення.....	 117
Література.....	119

Тема 1. Загальна характеристика мікропроцесорних систем керування

1.1. Особливості будови мехатронних систем

Мехатронна система (МС), в загальному випадку, включає в себе механічний об'єкт керування і електронну систему керування, які пов'язані між собою енергетичними та інформаційними потоками (рис. 1.1).

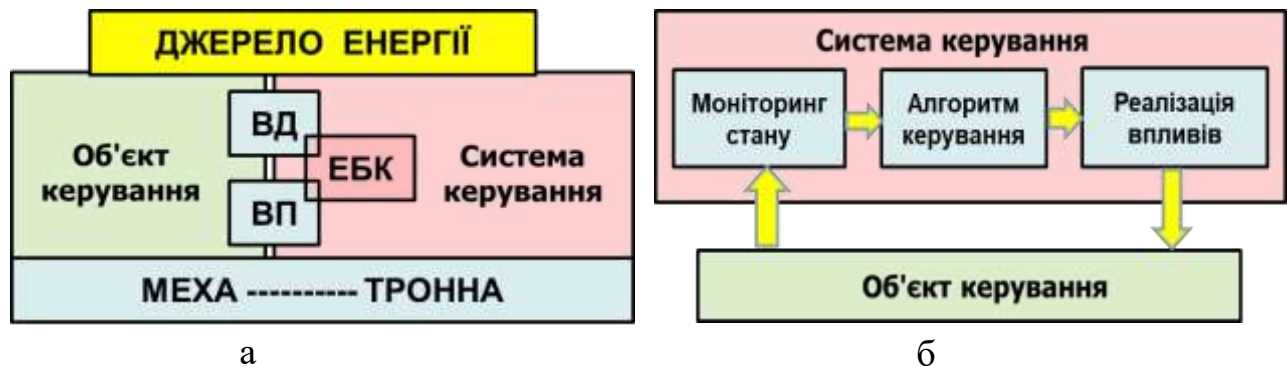


Рис. 1.1. Узагальнена структура мехатронної системи:
а – апаратне уявлення; б – процедурне надання

Інформаційний зв'язок на апаратному рівні здійснюється через вимірювальні датчики (ВД) і виконавчі пристрої (ВП), які функціонально належать обом складовим. Активізуюча частина ВД і робочий орган ВП належать механічному об'єкту керування. Електрична частина (коло підключення) ВД і ВП розглядаються, як елементи електронної системи керування.

Енергетичні потоки, у загальному випадку, утворюють контур перетворювачів виду енергії, замкнутий через первинне джерело живлення. Стосовно до систем автомобіля, розглядають два первинних джерела енергії – живлення тягового двигуна (паливо) і живлення електричних споживачів (АКБ). Ці джерела пов'язані через електро-механічний генератор. Крім того, в транспортних засобах передбачають використання рекуперативних джерел енергії гальмування.

Інформаційний потік в структурі системи керування утворюється засобами моніторингу стану об'єкту керування на підставі інформації отриманої з датчиків, встановлених на ньому. Визначальним атрибутом системи керування у складі МС є мікропроцесорна основа структури електронного блоку керування (ЕБК). Для прийняття рішення (формування сигналів керування) в програмному середовищі

мікропроцесора, використовуються певні алгоритми виконання операцій перетворення вхідних сигналів, що дозволяють отримати оптимальні значення сигналів керування. Реалізація керуючих впливів на підставі сигналів керування, здійснюється за допомогою електро-механічних перетворювачів (виконавчих пристроїв) [1].

В системі «автомобіль-водій-дорога», автомобіль розглядається, як об'єкт керування, і в сукупності з електронною системою керування являє МС, яка функціонує в напіваавтоматичному режимі під контролем водія (рис. 1.2).

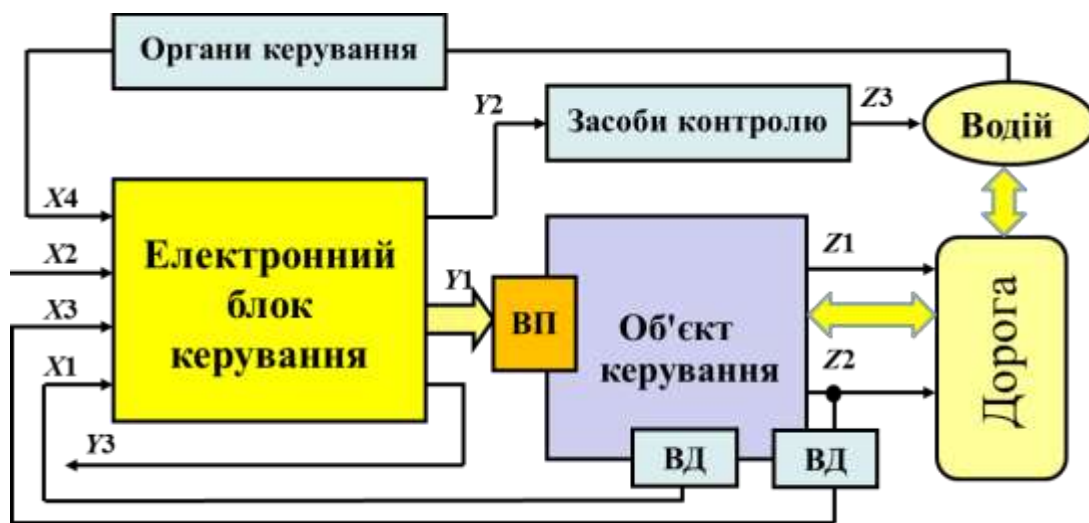


Рис. 1.2. Узагальнена функціональна схема системи «Автомобіль-водій-дорога»

На рис. 1.2 позначено: X – вхідні сигнали ЕБК; Y – вихідні сигнали ЕБК; Z – вихідні характеристики (параметри) автомобіля (агрегатів). Вхідні сигнали окремої системи керування надходять з датчиків: структурних режимних параметрів об'єкта керування X_1 ; інших мехатронних або інформаційно-вимірювальних систем автомобіля X_2 ; вихідних параметрів об'єкта керування X_3 ; органів керування X_4 .

Вихідні сигнали окремої системи керування подаються на виконавчі пристрої Y_1 і засоби контролю Y_2 , а також використовуються для інших систем керування Y_3 .

Вихідні характеристики МС можуть не контролюватися Z_1 (розімкнуті системи) або контролюватися Z_2 (замкнуті системи) датчиками вихідних параметрів. При цьому, реалізуються, відповідно, жорсткі (без зворотних зв'язків) або гнучкі (із зворотними зв'язками) алгоритми керування.

Якщо на стаціонарних режимах виключити з розгляду впливи водія Х4, то МС функціонує в автоматичному (без участі водія) режимі [2].

1.2. Призначення і класифікація систем керування

Автомобільні системи керування призначені для реалізації алгоритмів керування за допомогою агрегатів і вузлів автомобіля [3...5]. Процес керування виконується на підставі аналізу інформаційних параметрів, які змінюються під час експлуатації АТЗ (моніторинг режимного стану), і оптимізується за одним або декількома критеріям (алгоритм керування) з використанням програмно-апаратних засобів (реалізація керуючих впливів).

Системи керування АТЗ класифікують за чотирма загальними ознаками: призначенням або об'єктом керування; гнучкістю реалізації алгоритму; архітектурною композицією; ступенем автоматизації (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Загальна класифікація систем керування АТЗ

Розглянемо об'єкти АТЗ, для керування якими використовуються мікропроцесорні (МП) системи керування, і визначимо перелік інформаційних параметрів, необхідних для програмної реалізації алгоритмів керування за обраними критеріями оптимізації.

Системи керування ДВЗ поєднують комплекс функціональних систем керування: впусканням повітря; подачею і уприскуванням.

ням пального; запалюванням; газорозподільним механізмом; ступенем стиснення в циліндрах; охолодженням; полегшенням пуску; екологічними характеристиками двигуна. Критеріями оптимізації керуючих впливів для ДВЗ є максимальна ефективна потужність на валу двигуна, мінімальна витрата пального, мінімальна токсичність відпрацьованих газів (ВГ). У системах керування ДВЗ, як інформаційні розглядаються параметри, що характеризують поточний швидкісний, навантажувальний і температурний режими двигуна: частота обертання колінчастого валу (КВ), положення дросельної заслінки (ДЗ), температури охолоджуючої рідини (ОР).

Система зчеплення має задовольняти таким вимогам. По-перше, забезпечувати максимальну швидкість включення зчеплення незалежно від частоти обертання КВ. По-друге, виконувати монотонне підвищення моменту, який передається зчепленням під час підвищення частоти обертання двигуна. При цьому, на режимі холостого ходу (ХХ) система має повністю від'єднати зчеплення, а після підвищення частоти до заданого значення навпаки, забезпечити блокування зчеплення, щоб виключити його пробуксовку. По-третє, передбачити можливість зміни характеру залежності моменту, який передається зчепленням, від частоти обертання КВ, якщо втручається водій. По-четверте, забезпечувати швидке блокування зчеплення після надходження команди на її виконання. Швидкість включення зчеплення після вмикання передач має визначатися режимом руху автомобіля і навантаженням двигуна. Таким чином, в системі зчеплення, як інформаційні розглядаються параметри: частота обертання КВ, команди водія, швидкість руху автомобіля, навантаження двигуна. Вихідною функцією, яка підлягає оптимізації, є величина моменту, який передається зчепленням.

Для *системи керування коробкою передач* також використовуються перераховані інформаційні параметри, але функція перетворення полягає в оптимізації швидкісної передачі, а саме в забезпеченні системою певного співвідношення (передачі), залежно від режимів руху автомобіля. До того ж, система має виключати помилкове втручання водія в ручному режимі керування.

Системи керування повним приводом призначені для оптимального розподілу крутного моменту по осях і окремим колесам автомобіля з метою забезпечення кращого зчеплення коліс з дорожнім полотном. В системі розподілу крутного моменту, як інформаційні роз-

глядаються параметри: кутова швидкість обертання кожного колеса, частота обертання вихідного валу коробки переключення передач (КПП), команди водія, швидкість руху автомобіля, навантаження двигуна. Керуючі впливи на систему розподілу моменту реалізуються за допомогою керованих передаточних муфт, роздавальних коробок і диференціалів.

Системи рульового керування в своїй основі мають підсилювач керма, призначений для зміни передавальних характеристик тракту керування (коефіцієнтів посилення і передачі кутового відхилення) залежно від режимів руху і характеру маневрування автомобіля. У якості інформаційних, розглядаються параметри: кутове положення рульового колеса, зусилля на рульовому валу, швидкість руху автомобіля.

Система керування гальмуванням (ABS) призначена для забезпечення оптимального процесу гальмування автомобіля. Оптимізації підлягає гальмівний момент на колесі, який створюється гальмівною системою. У якості інформаційних параметрів використовуються кутові швидкості обертання коліс і реальна (курсова) швидкість руху автомобіля. Критерієм оцінки ефективності гальмування є якість зчеплення колеса з поверхнею дороги.

Система керування підвіскою забезпечує оптимальне функціонування (реакцію) її елементів при різних режимах руху і навантаженнях автомобіля, залежно від якості дорожнього полотна. Об'єктами керування системи є пружні елементи (ресори) і демпфируючі пристрої (амортизатори). У перших можна регулювати жорсткість і рівень установки, у других – рівень дисипативної сили, яка поглинається амортизатором. Системою вирішуються такі завдання: зменшення амплітуди коливань кузова при русі автомобіля (мінімізація вібрацій); усунення осідання кузова при прискореннях; підтримка постійного рівня кузова, щодо поверхні дороги (стабілізація положення). Для виконання цих завдань використовується інформація про: швидкість руху автомобіля; положення керма; уповільнення або прискорення автомобіля; положення селектора коробки передач; положення дросельної заслінки; положення кузова до осі колеса. Використовуючи прийняті позначення (див. рис. 1.2), можна скласти таблицю для визначення функціоналу якості керування $Z_k = F(Y_j)$ через функції перетворення вхідних сигналів $Y_j = f(X_i)$ для окремих функціональних систем двигуна на лінгвістичному рівні (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Лінгвістичні моделі функціональних систем керування АТЗ

Об'єкт (система) керування	Інформаційні сигнали X_i	Сигнали керування $Y_j=f(X_i)$	Параметри, що оп- тимізуються $Z_k=F(Y_j)$
ДВЗ	-положення КВ, -частота обертання, -положення ДЗ, -витрата повітря, -температура ДВЗ.	-модулем запалю- вання, -регулятором ХХ, -паливними форсун- ками, -вентилятором охо- лодження, -паливним насосом.	-мінімізація токсичності відпрацьованих газів, -мінімізація витрати па- льного, -підвищення потужності ДВЗ.
Зчеплення	-частота обертання КВ; -ступень натискання пе- далі зчеплення; -швидкість автомобіля, -навантаження ДВЗ.	-приводом диска зчеплення.	-швидкість вмикання, -момент, що передається.
Коробка передач	-частота обертання КВ, -положення педалі зчеп- лення; -швидкість автомобіля, -положення селектора передачі, -навантаження ДВЗ.	-приводами АКП и зчеплення.	-швидкісна передача.
Привід	-кутова швидкість обе- ртання коліс, -частота обертання ви- хідного валу КПП, -положення педалі зчеп- лення; -швидкість автомобіля, -положення селектора передачі, -навантаження ДВЗ.	-приводами роздат- кової коробки, муфт и диференціалів.	-розподіл крутного мо- менту по колесам.
Рульове ке- рування	-положення руля -фактична швидкість автомобіля -крутний момент на рульовому валу	-приводом підсилю- вача рульового ме- ханізму.	-момент, який переда- ється на рульовий меха- нізм, -кут відхилення коліс, -повертаюча реакція ру- льового колеса.
Гальма	- ступень натискання педалі гальма, - кутова швидкість обертання коліс, -фактична швидкість автомобіля.	-приводами системи гальм.	-гальмівний момент на колесах.

Підвіска	-положення кузова, -швидкість и прискорення автомобіля, -положення руля.	-параметрами пружин, балонів, ресор, амортизаторів.	-демпфірування коливань кузова, -стабілізація положення кузова.
-----------------	--	---	--

Щодо гнучкості керування, розрізняють системи, які мають жорсткий алгоритм функціонування (розімкнуті системи) і замкнуті системи, алгоритм функціонування яких визначається (корегується) на підставі аналізу вихідного параметра об'єкта керування (зворотного зв'язку X_3).

В *розімкнутих системах* у якості інформаційних, використовуються тільки структурні параметри об'єкта керування X_1 (див. рис. 1.2). На підставі структурних параметрів формується оптимальний сигнал керування об'єктом Y_1 .

В *замкнутих системах* у якості інформаційного, додатково обирається вихідний параметр об'єкта керування X_3 , що підлягає оптимізації. Гнучкі (адаптивні) системи дозволяють уникнути похибки керування, яка виникає в результаті непередбачених факторів, що збурюють. Так, наприклад, детонація ДВЗ, викликана неякісним паливом, усувається при наявності сигналу зворотного зв'язку від датчика детонації, шляхом коригування кута випередження запалювання. Зворотній зв'язок по кисню в вихлопному тракті дозволяє підтримувати стехіометричну паливну суміш в циліндрах ДВЗ, шляхом коригування тривалості відкритого стану форсунки. При цьому, причиною порушення оптимального складу паливної суміші може стати засмічення паливного каналу або зниження тиску пального в рампі форсунок.

Слід додати, що деякі системи керування залежно від функціонального призначення, можуть бути виконані тільки як замкнуті. Наприклад, в круїз-системах підтримки постійної швидкості руху автомобіля за вихідний параметр і параметр керування сприймається швидкість руху автомобіля, а як збуджуючі фактори розглядаються зміна профілю дорожнього полотна, аеродинамічний опір повітря та інші дестабілізуючі фактори [6].

За архітектурою апаратної будови розрізняють кілька композицій системи. У *функціональних системах* реалізується функція керування виконавчим пристроєм конкретного призначення (запалювання, упорскування, гальма). *Комплексні системи*, поєднують кілька функціональних систем по керуванню конкретним об'єктом керування.

ня (ДВЗ, підвіскою). Системи комбінованої структури поєднують кілька комплексних і функціональних систем керування декількома об'єктами одночасно (рис. 1.4).

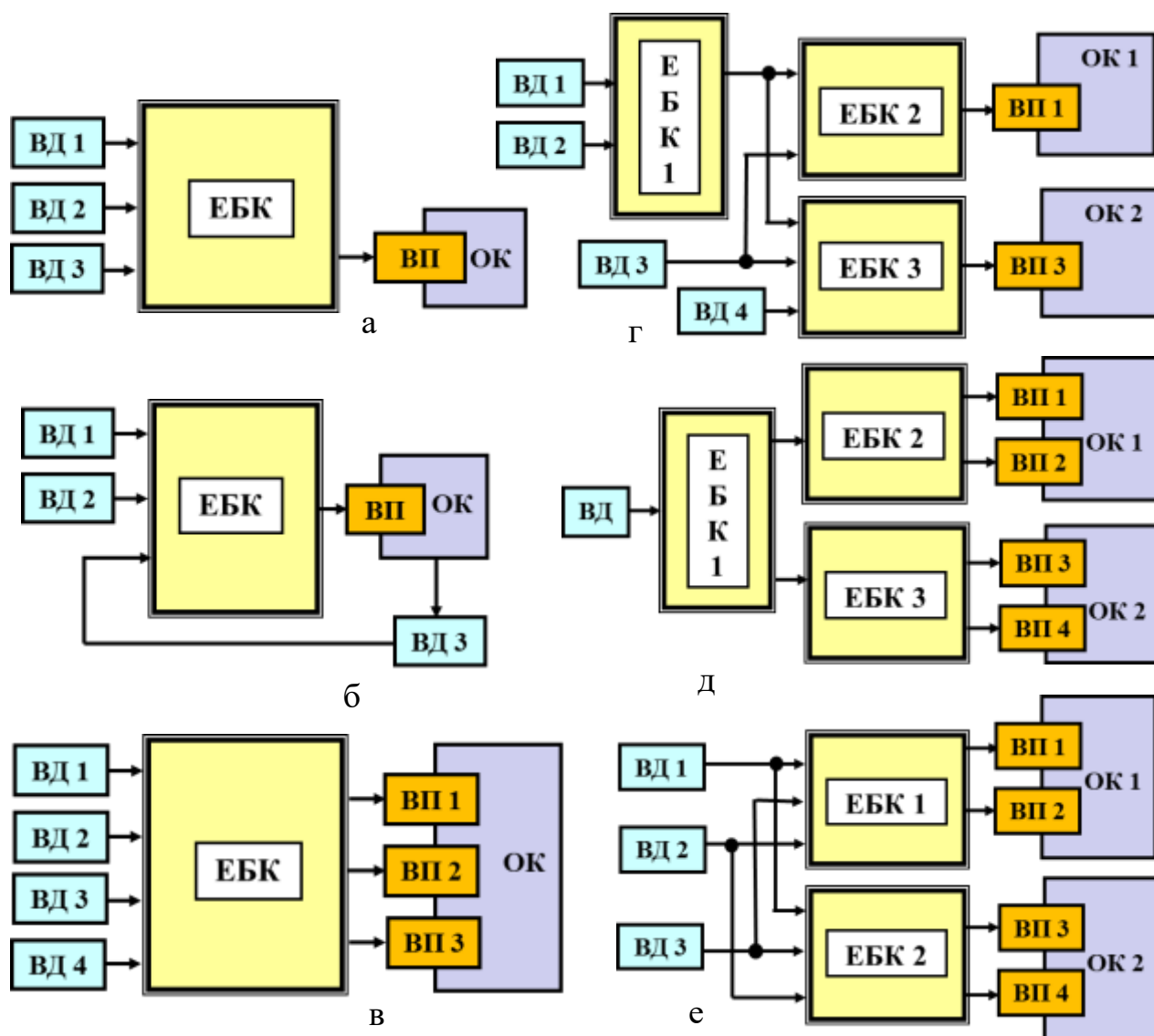


Рис. 1.4. Композиції апаратної структури систем керування:
а – функціональна розімнута; б – функціональна замкнута; в – комплексна;
г – комбінована логічна; д – комбінована ієрархічна;
е – комбінована паралельна

Комбіновані системи, залежно від способу підключення вимірювальних датчиків можуть мати логічну, ієрархічну або паралельну апаратну структуру.

У системах логічної структури, структурні зв'язки організовані аналогічно схемам на логічних елементах (елемент має кілька входів але один вихід).

В *ієрархічній структурі* розглядаються апарати по рівням ієрархії керування. Так, наприклад, в системі керування гібридною силовою установкою на верхньому рівні вирішується завдання перерозподілу потужності по силовим агрегатам установки (ДВЗ, електродвигун, АКБ), на другому – реалізуються системи автоматичного керування силовими агрегатами, на третьому (нижньому) – окремі канали регуляторів різного призначення.

У *паралельній структурі*, вхідні сигнали від загальних датчиків надходять одночасно на ЕБК різного призначення (зазвичай організують CAN-лінії зв'язку). У загальному випадку, можна розглядати змішані структури.

З позицій інформаційних зв'язків у комбінованих системах, архітектурна композиція надається у вигляді *топологічних схем*. При цьому, для організації каналів зв'язку застосовуються інформаційні інтерфейси, які за способом реалізації поділяють на звичайні незалежні і послідовні CAN інтерфейси (Controller Area Network). В автомобільних CAN системах, інформація транслюється по шинах передачі даних по чергово по одній двох-провідній лінії (каналу зв'язку). В системах керування, пов'язаних з рухом автомобіля, CAN зв'язок забезпечується в режимі реального часу. Для цього, використовують високошвидкісні шини CAN зв'язку (швидкість передачі даних до 1 мбіт/с). В системах бортової електроніки, не пов'язаних з швидкісними режимами (клімат-контроль, центральний замок і регулювання сидінь), забезпечують мультиплексну передачу даних по низькошвидкісним шинам CAN зв'язку (до 125 кбіт/с). Для мобільного зв'язку центрального дисплея з елементами керування (система навігації, телефон, аудіо-установки) також використовується низькошвидкісна CAN. При цьому, забезпечується зв'язок тільки по командним операціям, а пряма трансляція аудіо та відеоданих неможлива. В діагностичних системах достатня швидкість обміну даними по CAN інтерфейсу становить 125...500 кбіт/с.

Для передачі повідомлення в CAN-шину генерується кадр даних певного формату. Формат кадру даних включає сім послідовних зон (полів): початок кадру (початкова синхронізація всіх систем); арбітраж (визначення пріоритетів передачі даних блоків); керування (контроль формату даних); дані (інформаційний зміст); перевірка збитковості (контроль збою даних); підтвердження прийому (ознака прийому непошкодженого сигналу); кінець кадру (кінцева синхронізація

всіх систем). Для підвищення оперативності передачі даних CAN-система дозволяє упаковувати в один кадр декілька повідомлень малої місткості.

За ступенем автоматизації розрізняють системи, що працюють в автоматичному режимі без участі водія (керування запаленням, упорискуванням пального) і системи, що працюють в напіваавтоматичному режимі, де в контурі керування задіяний водій. У автоматизованих системах автомобіля використовуються датчики, які параметрують стан органів керування (кнопок, важелів, педалей, керма).

1.3. Характеристика периферійних пристроїв

До периферійних пристроїв, що підключаються до ЕБК, відносяться: датчики; виконавчі пристрої; комутуючі та захисні апарати кіл живлення; кореспонденти інтерфейсів. Залежно від області застосування, розрізняють периферійні пристрої широкого застосування, спеціального призначення і спеціалізованого використання.

Датчики виміральної інформації класифікують за кількома загальними ознаками [6...8]: призначенню або функції перетворення; принципом дії чутливого елемента і способу реалізації (рис. 1.5).

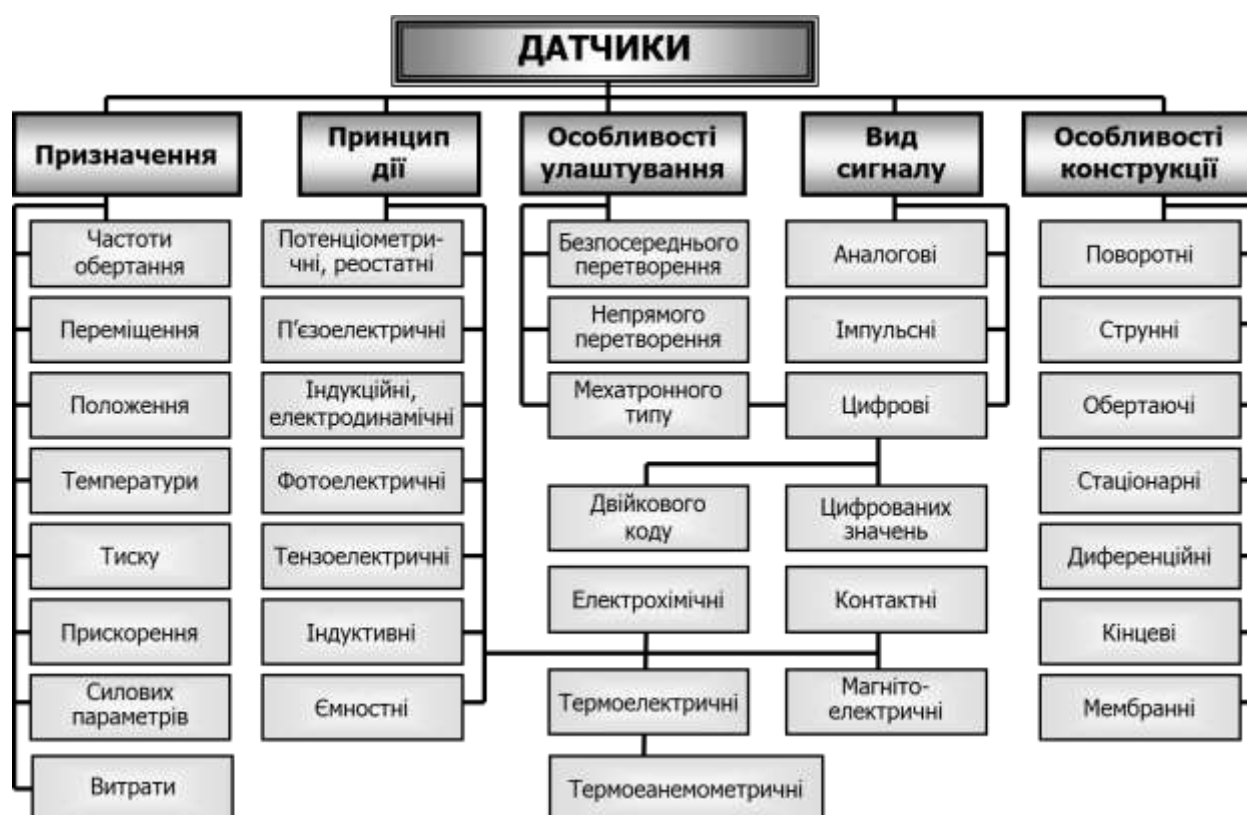


Рис. 1.5. Класифікація датчиків неелектричних величин за загальними ознаками

Для ідентифікації датчика конкретного типу необхідно визначити всі його класифікаційні атрибути. Наприклад, автомобільний (область застосування) датчик витрати повітря (призначення), термоанометричний (принцип дії), мехатронний (особливість устрою), стаціонарний (особливість конструкції), аналоговий (вид сигналу).

У датчиках мехатронного типу передбачається наявність чутливого і вимірювального елементів, а також пристрою обробки (перетворення) початкового електричного сигналу. Такі датчики, як правило, виготовляються за інтегральною технологією. Наприклад, датчик розрядження (тиску) базується на кремнієвій платівці, що виконує функцію пружного чутливого елемента, на якій інтегровано тензорезисторний вимірювальний міст, підсилювач напруги та аналого-цифровий перетворювач (АЦП). На виході такого датчика формується сигнал у вигляді двійкового коду, який відповідає рівню розрядження (тиску). До переваг мехатронних датчиків слід віднести високу компактність, перешкодостійкість, монолітність виробу, надійність і можливість уніфікованого застосування.

Сигнали цифрованих значень в датчиках мехатронного типу являють імпульси прямокутної форми, нормовані за амплітудою. Інформаційними параметрами таких сигналів є: кількість імпульсів, частота їх слідування, шпаруватість структури у межах періоду.

Відмінністю автомобільних датчиків є певний діапазон вимірювання параметра, конструктивна прив'язка до об'єкту керування, стійкість до зовнішніх впливів (вібрації, агресивне середовище, температура, електромагнітне випромінювання). У назві датчика системного призначення, вказується не тільки величина, яка перетворюється, а й позначається об'єкт (система), стан якого реєструється. Так, наприклад, цифровий датчик Холла однакової конструкції, залежно від системи де він використовується, може називатися як датчик сигналу системи запалювання або кутового положення розподільного валу системи керування ДВЗ або частоти обертання колеса ABS.

Виконавчі пристрої електричних систем керування [6] можна класифікувати за:

- призначенням або функцією перетворення (приводи, нагрівачі, спалахувачі, сигналізатори);
- принципом дії (електромагнітні, п'єзоелектричні, термоелектричні, фотоелектричні, електрогідравлічні, електропневматичні);

- конструктивним виконанням (електроклапан, електродвигун, актуатор, лінійний привід, реле, нагрівальний елемент, соленоїд, розрядник, зумер, індикатор);
- способу підключення (безпосереднього і дистанційного).

До переліку виконавчих пристроїв автомобільних систем керування можна віднести електромеханічні перетворювачі (контактори, клапани та електродвигуни різного призначення); термоелектричні перетворювачі (свічки розжарювання, підігріву); перетворювачі електричних величин (котушки і модулі запалювання). Більш потужні ВП (нагрівачі повітря та пального, електродвигуни паливних насосів і силових актуаторів) керуються через дистанційні реле.

1.4. Структура електронного блоку керування

Електронний блок систем керування (ЕБК) містить пристрої вхідної обробки (узгодження сигналів датчиків), мікропроцесорний пристрій і апаратні драйвери (вихідні каскади), які перетворюють двійковий код мікропроцесора до значень параметрів сигналу керування виконавчими пристроями [4, 6]. Живлення означених пристроїв і датчиків вимірювальної інформації забезпечується стабілізатором напруги (рис. 1.6).

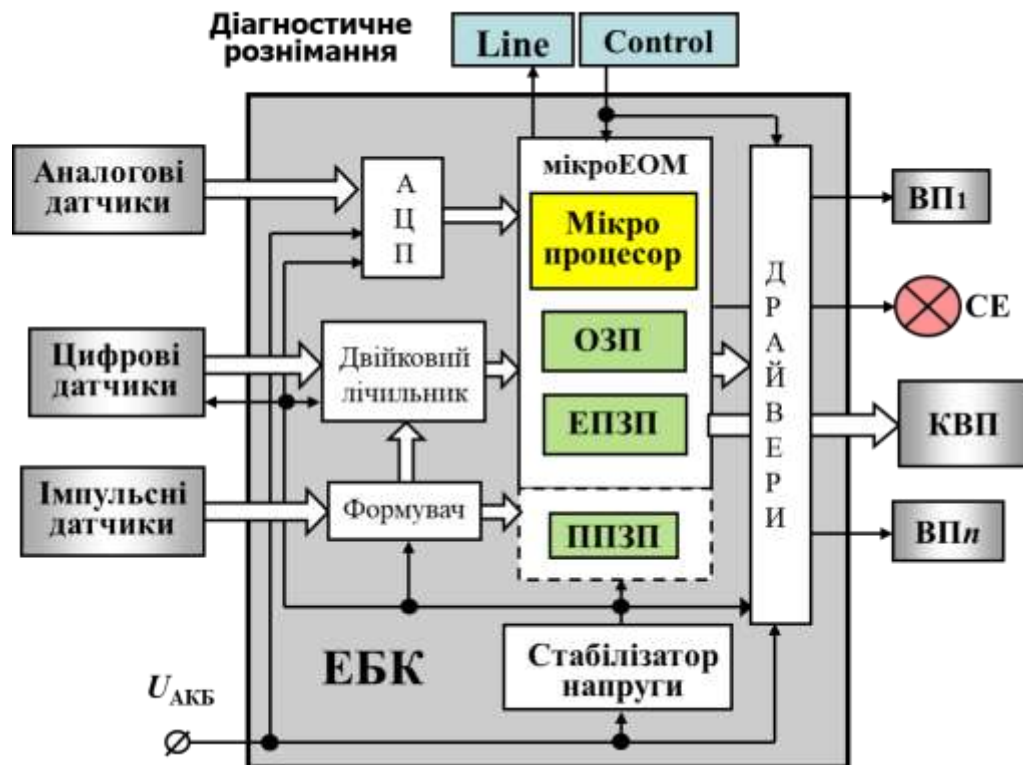


Рис. 1.6. Схема узагальненої структури мікропроцесорної системи керування

У вхідних колах схем узгодження відбувається нормалізація сигналу (фільтрація електромагнітних перешкод, масштабування). На виході схем узгодження формується дискретний сигнал (двійковий код), зрозумілий для мікропроцесора. Сигнали аналогових датчиків перетворюються з допомогою АЦП. Слід зазначити, що в деяких системах рівень напруги живлення борта сприймається як вимірювальна інформація аналогового вигляду.

Сигнали імпульсних і цифрованих датчиків надходять в пристрій вхідної обробки. Нормалізація імпульсних сигналів загального вигляду полягає в перетворенні їх до прямокутної форми. Для перетворення цифрованого сигналу до двійкового коду використовуються двійкові лічильники.

Сигнали, які утворюються датчиками у вигляді двійкового коду (датчики мехатронного типу) надходять безпосередньо в мікропроцесор або підлягають перетворенню з послідовного коду до паралельного за допомогою відповідних перетворювачів коду.

Електронна пам'ять мікропроцесора в ЕБК забезпечується трьома типами запам'ятовуючих пристроїв: постійно програмованим (ППЗП), оперативним (ОЗП), електрично-програмованим (ЕПЗП).

В *постійній пам'яті* зберігаються робочі команди, які утворюють алгоритми керування, і калібрувальна інформація. Калібрувальна інформація зберігається у вигляді характеристичних карт оптимізованих значень режимних параметрів (кутів випередження запалювання, коефіцієнтів надлишку повітря). Інформація, яка зберігається в ППЗП, не підлягає зміні в процесі експлуатації автомобіля і зберігається при відключенні живлення ЕБК (енергонезалежна пам'ять).

Оперативна енергозалежна пам'ять використовується для тимчасового зберігання виміряних параметрів, які надходять з схем узгодження датчиків і термінової інформації з ППЗП, яка необхідна для розрахунків (формування вихідних сигналів мікропроцесора).

Електрично-програмована пам'ять використовується для тимчасового зберігання коефіцієнтів корекції характеристичних карт під час активізації адаптаційних алгоритмів через зворотні зв'язки системи керування. На відміну від ОЗП і ППЗП, інформація в ЕПЗП поновлюється в процесі експлуатації автомобіля і зберігається при відключенні живлення ЕБК.

У мікропроцесорі відбуваються арифметичні і логічні обчислення вимірних параметрів, які знаходяться в ОЗП із залученням необхідної калібрувальної інформації, яка зберігається в ППЗП і ЕПЗП. На виходах мікропроцесора формуються дискретні сигнали керування, які надходять на апаратні драйвери (вихідні каскади), де перетворюються до потрібного виду і погоджуються з параметрами виконавчих пристроїв.

У більшості випадків, керування ВП полягає у підключенні живлення бортової мережі. При цьому, якщо, ВП підключається в випадковому режимі, для комутації струму застосовують транзисторні ключі. У разі керування електромагнітними пристроями в періодичному режимі зі значною частотою комутації струму (наприклад, паливними форсунками), для підвищення динамічних якостей ключа, додатково застосовують схеми прискорення (драйвери ключів). Для керування електродвигунами постійного струму, у якості драйверів використовують цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) з лінійними підсилювачами струму, і ШІМ-регулятори (широто-імпульсна модуляція). Зокрема, для керування двох-полярними кроковими електродвигунами регулятора ХХ застосовуються мостові інвертори та локальні контролери. Деякі інформаційні сигнали з виходів МП передаються безпосередньо на засоби індикації.

Електронні пристрої у структурі ЕБК і більшість датчиків прямого перетворення потребують електроживлення фіксованим значенням напруги. Ця напруга забезпечується стабілізатором (перетворювачем) напруги.

Наявність значної кількості елементів і застосування складних алгоритмів функціонування систем керування потребує значної уваги під час визначення технічного стану мехатронної системи в цілому, локалізації несправного елемента, визначення місця і причини пошкодження. Для поліпшення процесу діагностування та зниження витрат на технічне обслуговування автомобілів в більшості МП систем керування передбачена інтегрована система самодіагностики. Підключення зовнішніх діагностичних приладів, при цьому, здійснюється за допомогою діагностичного роз'єму. Діагностична інформація надходить у двох напрямках: «Line» – від системи самодіагностики на зовнішній монітор і «Control» – від зовнішньої клавіатури у середовище ЕБК.

1.5. Способи реалізації алгоритмів керування

Для реалізації оптимальних керуючих впливів за допомогою ВП на поточний момент необхідно: по-перше, отримувати інформацію про фактичний режимний стан об'єкта керування (здійснювати моніторинг параметрів, що характеризують стан об'єкта); по-друге, знати за якими законами (алгоритмами) слід формувати керуючі сигнали в середовищі ЕБК.

Загальне поняття моніторингу визначає сукупність спостережень протягом певного часу спрямована на встановлення фактичного стану об'єкту з метою регулювання якостей цього об'єкта. Моніторинг має адресність й предметну спрямованість (застосовується до конкретних об'єктів для рішення конкретно поставлених задач) [9].

Щодо технічних систем, розглядають *два аспекти* моніторингу, які пов'язані або з процесом керування об'єктом, або з визначенням його технічного стану. У першому випадку, як індикаторні, розглядаються режимні параметри, що характеризують поточний стан справної системи, у другому, – діагностичні параметри, що визначають ступінь справності системи.

Система моніторингу у складі автомобільних мікропроцесорних систем керування реалізується на базі: датчиків вимірювальної інформації, розміщених на агрегатах автомобіля; пристроїв узгодження сигналів в структурі ЕБК; програм цифрової обробки і перетворення кодової інформації в середовищі МП; апаратних драйверів (інтерфейсів) для підключення виконавчих пристроїв і каналів зв'язку.

В системах керування використовуються різні інформаційні структури побудови програм на базі алгоритмів функціональних перетворювачів: логічна, паралельна, ієрархічна.

На апаратному рівні функціональні перетворювачі характеризуються рівнем реалізації (аналогові пристрої, цифрові регулятори, комбіновані перетворювачі АЦП і ЦАП, мікропроцесорні системи).

Широке практичне застосування знайшли вихідні функціональні перетворювачі, в яких виконується широто-імпульсна (ШІМ-регулятори) і частото-імпульсна (ЧІМ-регулятори) модуляція сигналу. Такі регулятори дозволяють змінювати середнє значення струму в індуктивно-активному навантаженні (виконавчих пристроях) з мінімальними втратами потужності.

При керуванні динамічними процесами в інерційних об'єктах керування використовуються ПІД-регулятори, які вносять в керую-

чий сигнал не тільки пропорційну, але й інтегральну та диференціальну складові сигналу зворотного зв'язку. Таке рішення дозволяє компенсувати запізнювання реакції і післядію об'єкта керування, та як наслідок виключити статичні помилки регулювання, що викликають автоколивальні процеси інерційної ланки. В мікропроцесорних системах означені регулятори реалізуються на програмному рівні.

Реалізація алгоритму керування залежно від складності функції перетворення, роздільної здатності та точності виконання може здійснюватися кількома способами. Якщо, для отримання оптимізованого значення сигналу керування достатньо виконати лише арифметичні і логічні операції або здійснити прості функції перетворення над вхідними параметрами, можна обмежитися застосуванням електронних пристроїв, таких як арифметично-логічні схеми. Коли вхідних параметрів стає набагато більше і функція перетворення стає складнішою, доцільніше реалізувати алгоритм керування з використанням наперед заданих значень цієї функції (характеристичних карт). Поряд з цим, для побудови сучасних систем керування використовуються методи нечіткої логіки та штучних нейронних мереж (ШНМ). Реалізація таких систем можлива тільки на базі МП.

В алгоритмах *логічного керування* оперують поняттями класичної (булевої) логіки – «ТАК» і «НІ» (одиниця і нуль). В апаратному наданні вхідні сигнали (датчиків) задаються дискретними значеннями «поданий/не поданий», вихідні сигнали керування (виконавчими пристроями) формуються за ознакою «увімкнути/вимкнути». Функціональні перетворювачі у структурі алгоритму являють логічні елементи, а сама структура, – логічний перетворювач коду.

Використання *нечіткого керування* рекомендується для складних процесів, коли не існує простої математичної моделі для нелінійних процесів високих порядків і для вирішення завдань, пов'язаних з асоціативним мисленням людини (експертна оцінка). В цьому випадку, потрібно більше відповідей (значень функції) для заданих умов (значень аргументів) [10].

Термін *«лінгвістична змінна»* надає будь-яку фізичну величину кількома значеннями у вигляді слів (поруч, подалі, недалеко, далеко).

В цілому весь процес побудування алгоритму нечіткого керування можна розбити на кілька кроків – фазифікація, розробка нечітких правил і дефазифікація.

Фазифікація являє перехід від точного значення вхідних змінних до значень лінгвістичних змінних (нечітких значень) за допомогою певних функцій належності (закономірностей зміни), значення яких перебувають в діапазоні 0...1 (0...100%).

Правило продукції складається з посилок (антецедента «ЯКЩО»), зв'язок «І»/«АБО» і висновку (консеквента «ТОДІ»). Може бути декілька посилок в правилі. Зазвичай, продукційне правило записується у вигляді: «ЯКЩО (посилка) (зв'язка І/АБО) (посилка) ТОДІ (висновок)».

Процес обчислення нечіткого правила називається нечітким логічним виводом, який здійснюється шляхом вибору екстремальних значень функції належності посилок і висновків.

Після нечіткого виведення проводиться *дефазифікація* продукції, яка полягає в переході від нечітких значень величин до певних фізичних параметрів сигналів для керування ВП. Для усунення нечіткості остаточного результату існує кілька методів: центру максимуму; найбільшого значення; центроїда [10].

Алгоритми нечіткої логіки знаходять практичне застосування в МП системах керування: ДВЗ, трансмісією, динамікою, гальмуванням, паркуванням, рульовим механізмом.

Характеристична карта містить множину оптимальних значень параметрів, які можна отримати теоретичним (аналітичним) або практичним (експериментальним) шляхом. Аналітичне та комп'ютерне моделювання об'єкта керування не завжди враховує всі його реальні властивості, тому більш точним є спосіб натурального відтворення процесу функціонування об'єкта керування. Процес отримання значень параметрів характеристичної карти прокоментуємо на прикладі системи керування запалюванням бензинового ДВЗ (рис. 1.7).

Двигун, для якого проектується система керування запалюванням, встановлюється на випробувальний стенд. Стенд дозволяє змінювати частоту обертання n і навантаження двигуна N та вимірювати ці вхідні параметри X_1 , X_2 за допомогою відповідних датчиків. На ДВЗ також встановлюються датчик ефективної потужності, аналізатор складу ВГ і вимірювач витрати пального, за допомогою яких реєструються найкращі показники AZ двигуна. Процес формування характеристичної карти полягає у послідовному переборі комбінацій режимів ДВЗ (n_i , N_j) і запису в ППЗП найкращих (оптимальних) значень кута випередження запалювання α^0 для обраних режимів [6].

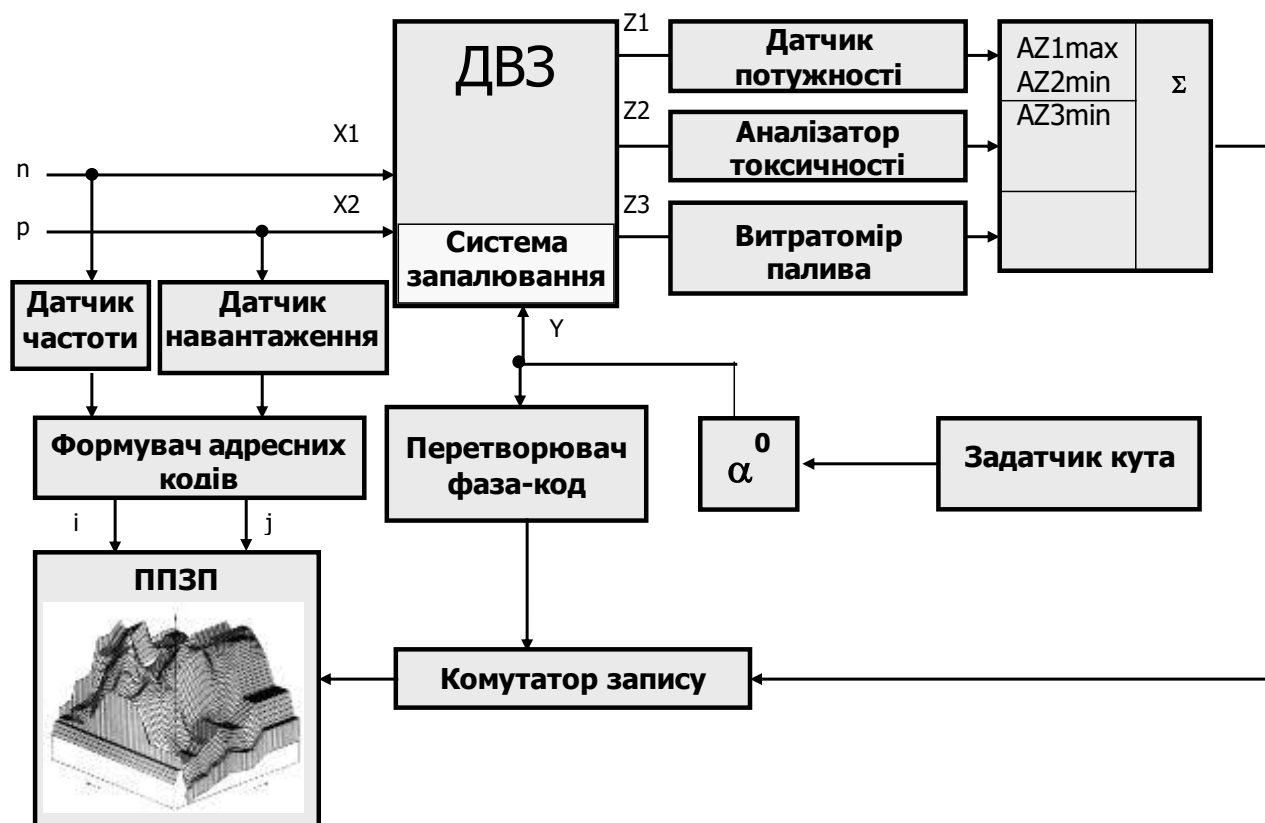


Рис.1.7. Функціональна схема пристрою для формування характеристичної карти

Зазвичай, формат матриці кута випередження запалювання становить $F(16 \times 16)$. На рис. 1.8, а показано тривимірну інтерпретацію характеристичної карти, отриманої після проведення випробувань ДВЗ описаним способом.

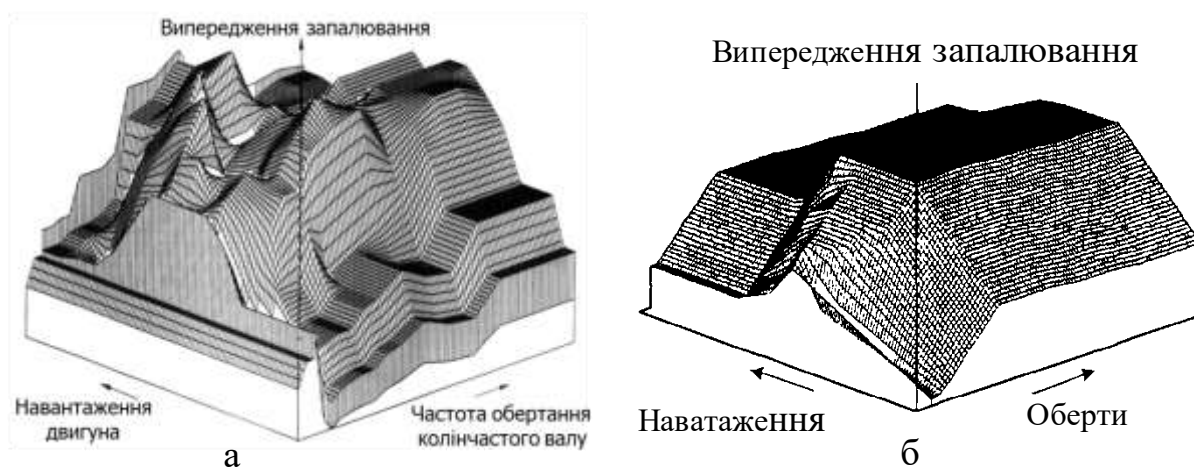


Рис. 1.8. Поверхня функції керування моментом запалювання:

- а – характеристичної карти оптимальних значень;
- б – реалізована за допомогою механічних автоматів

У порівнянні з результатами, які отримані при застосуванні механічних автоматів випередження запалювання (рис. 1.8, б) функціональна поверхня оптимальних значень є значно складнішою (негладкою). Аналогічним чином формується характеристична карта коефіцієнтів надлишку повітря для систем керування уприскуванням пального. Характеристичні карти, збережені в ППЗП, використовуються під час експлуатації ДВЗ. Для прикладу, прокоментуємо процес оптимізації режиму спрацювання форсунок системи керування уприскуванням пального (рис. 1.9).

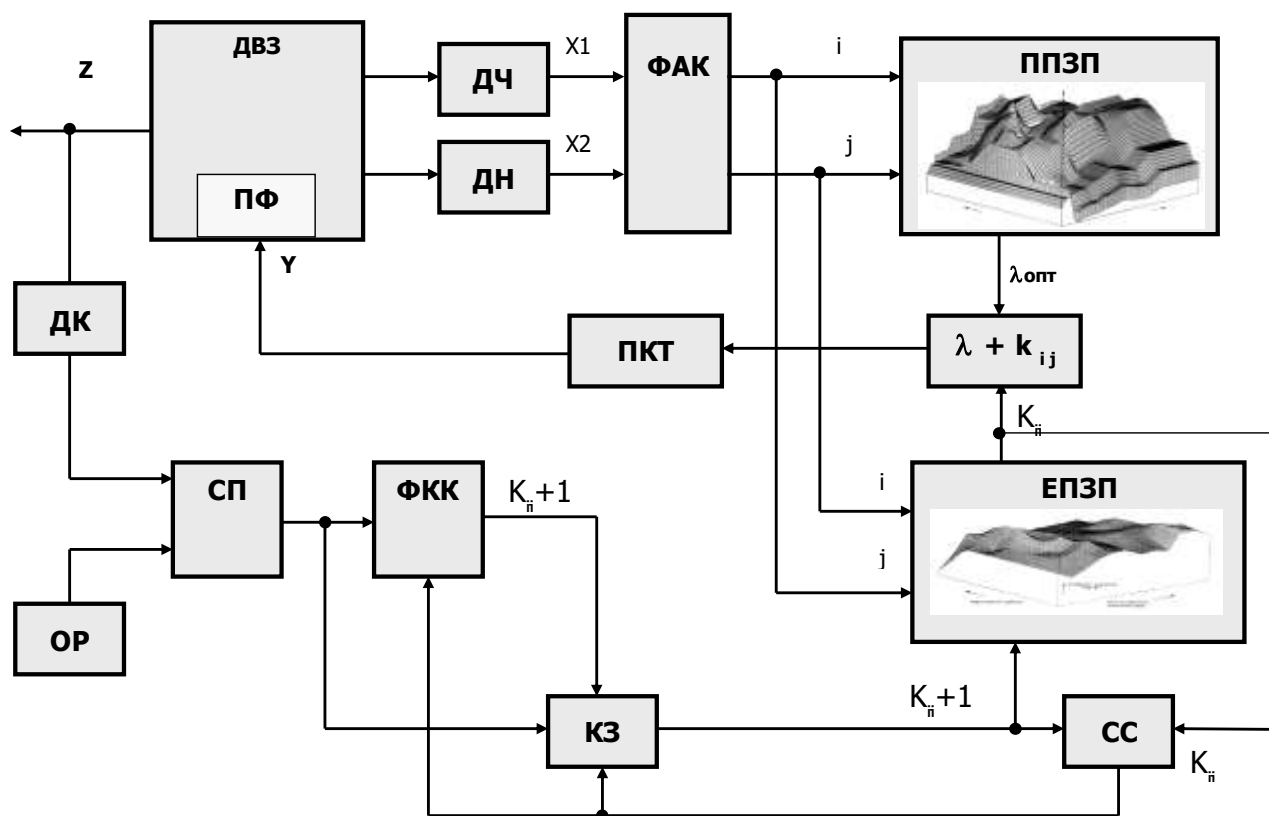


Рис. 1.9. Функціональна схема керування паливними форсунками

За допомогою датчиків частоти обертання (ДЧ) і навантаження двигуна (ДН) штатної системи керування ідентифікується робочий режим ДВЗ. Пристрій для формування адресних кодів (ФАК) на підставі цієї інформації визначає адресу (i, j) в пам'яті ППЗП, де зберігається код оптимального значення коефіцієнта надлишку повітря λ_{ij} для поточного режиму N_i, n_j . Вилучений двійкового коду, перетворюється до імпульсного сигналу відповідної тривалості Y_{ij} (перетворювач код-тривалість ПКТ), який розглядається як сигнал керування

паливними форсунками (ПФ). При зміні режимів ДВЗ цей процес повторюється.

Якщо, в системі керування передбачено зворотний зв'язок з датчиком концентрації кисню ДК, додатково реалізується адаптивна функція системи. Канал зворотного зв'язку містить: значення опорного рівня кисню ОР для стехіометричної суміші; схему порівняння СП; формувач коду корекції ФКК; комутатор запису КЗ; схему співпадіння СС. В такому випадку, виконується коригування коефіцієнта надлишку повітря k в разі виникнення структурних відхилень МС від справного стану. Процес адаптації відбувається за ітераційним алгоритмом з формуванням сітки корегуючих коефіцієнтів k_{ij} в енергонезалежній пам'яті ЕПЗП. Кореговане значення $\lambda_{\text{опт}} = \lambda_{ij} + k_{ij}$ надходить до форсунок через перетворювач код-тривалість ПКТ [6]. Якщо, в системі керування ДВЗ передбачено зворотний зв'язок за детонацією, корекції підлягає значення кута випередження запалювання. Алгоритм адаптації, в цьому випадку, менш складний і полягає в примусовому зниженні кута запалювання, аж до припинення детонації.

Штучна нейронна мережа (ШНМ) – математична модель, а також її програмне або апаратне втілення, побудовані за принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж (мереж нервових клітин живого організму) [11...13]. Структура найпростішої нейронної мережі являє пошарову організацію нейронів і зв'язків між ними (рис. 1.10).

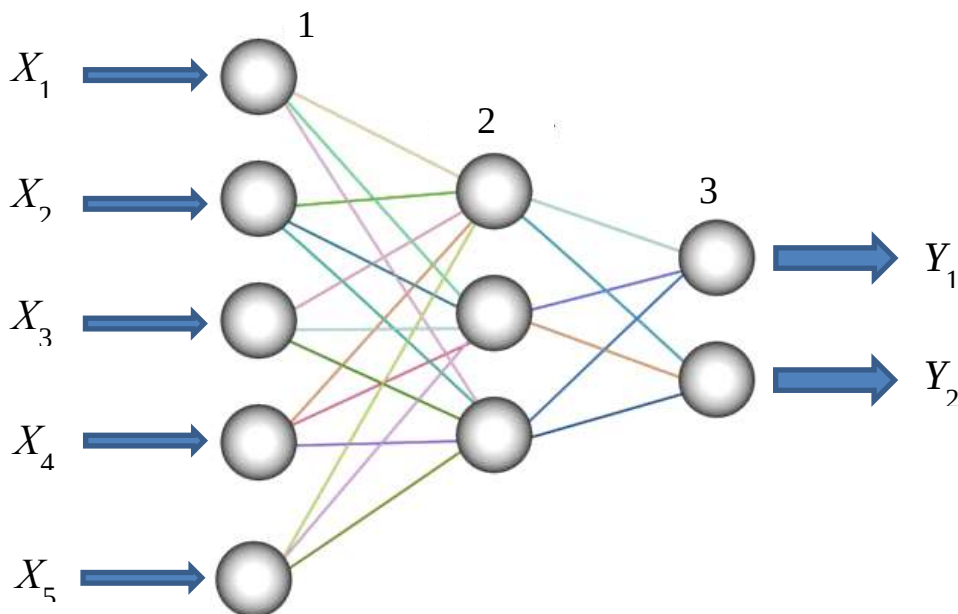


Рис. 1.10. Структура нейронної мережі:
1 – вхідний шар; 2 – прихований шар; 3 – вихідний шар

Нейрони вхідного шару отримують дані із-зовні (наприклад, від сенсорів) і після їх обробки передають сигнали через синапси (зв'язки) нейронам наступного шару. Нейрони другого (прихованого) шару обробляють отримані сигнали і передають їх нейронам вихідного шару. Якість з'єднання між нейронами шарів називається вагою. Значення кожного нейрона в кожному шарі буде залежати від ваги зв'язку і значення нейронів попереднього шару. Така, найпростіша ШНМ придатна навчатися і може знаходити прості взаємозв'язки в даних.

Стосовно до автомобільних систем, ШНМ обробляє сигнали, отримані з датчиків зовнішньої інформації, приймає управлінські рішення в статусі водія і забезпечує реалізацію керуючих впливів за допомогою ВП. При цьому, використовуються ШНМ зворотного поширення, які здатні апроксимувати будь-яку функцію і перетворювати кілька вимірів одночасно.

Технічно ШНМ являє систему простих процесорів (штучних нейронів) з'єднаних і взаємодіючих між собою. Кожен процесор подібної мережі має справу тільки з сигналами, які він періодично отримує, і сигналами, які він періодично посиляє іншим процесорам.

Нейронні мережі не програмуються в звичному сенсі цього слова, вони навчаються. Можливість навчання – одне з головних переваг нейронних мереж перед традиційними алгоритмами. Технічно, навчання полягає в знаходженні коефіцієнтів зв'язків між нейронами. В процесі навчання нейронна мережа здатна виявляти складні залежності між вхідними і вихідними даними, а також виконувати узагальнення. Це означає, що в разі успішного навчання, мережа зможе видати вірний результат за даними, які були відсутні в навчальній вибірці, а також неповних і/або сигналів з перешкодами.

Нейронні мережі дозволяють вирішувати ряд завдань: розпізнавання образів; класифікацію; прийняття рішень і керування; кластеризацію; прогнозування; апроксимацію; стиснення даних і асоціативного запам'ятовування; аналіз даних; оптимізацію; знаходження зразків у великих обсягах даних; орієнтацію в просторі та ін. [14].

Перевірка адекватності навчання ШНМ проводиться шляхом тестування якості навчання на прикладах, які не брали участі в її навчанні. При цьому, число тестових прикладів має бути тим більше, чим вище якість навчання.

На сьогоднішній день розрізняють 26 типів ШНМ. З них 12 названі іменами їх винахідників. Щоб узагальнити властивості окремих ШНМ, їх класифікують за кількома ознаками [14]:

- типом вхідних даних: аналогові (на вході дійсні числа), виконавчі (на вході двійкові числа) і образні (на вході знаки, ієрогліфи, символи);
- характером навчання – з вчителем, без вчителя та з підкріпленням;
- характером налаштування синапсів (зв'язків) мережі з: фіксованими зв'язками (вагові коефіцієнти нейронної мережі обираються відразу, виходячи з умов задачі); динамічними зв'язками (в процесі навчання відбувається настройка зв'язків між нейронами);
- часом передачі сигналу – синхронні та асинхронні мережі;
- характером зв'язків.

Нейронні мережі мають низку унікальних властивостей, які роблять їх потужним інструментом для створення систем керування динамічними об'єктами [15]: здатністю до навчання на прикладах і узагальнення даних; придатністю для синтезу нелінійних регуляторів; високою стійкістю до пошкоджень своїх елементів в силу закладеної архітектури паралелізму. Основними *перевагами* нейронних мереж перед традиційними обчислювальними методами є [12]:

- рішення задач в умовах невизначеності (з неповними даними);
- стійкість до шумів у вхідних даних (фільтрація без попереднього аналізу вхідних даних);
- гнучкість структури (нейрони і зв'язки можна комбінувати);
- висока швидкодія (паралельна обробка даних);
- адаптація до змін навколишнього середовища (перенавчання в нестационарному середовищі);
- відмово-стійкість (розподілене зберігання інформації).

До *недоліків* нейронних мереж, що обмежують їх застосування, слід віднести:

- отримання завжди приблизної відповіді;
- нездатність прийняття рішень в кілька етапів;
- нездатність вирішувати обчислювальні завдання;
- трудомісткість і тривалість навчання.

Контрольні запитання

1. Визначте поняття мехатронна система.
2. Назвіть складові апаратної і процедурної структури мехатронної системи.
3. За якими загальними ознаками класифікують системи керування АТЗ?
4. За якою ознакою автоматизовані системи відрізняються від автоматичних?
5. Наведіть приклади вихідних параметрів мехатронних систем автомобіля, що підлягають оптимізації.
6. В чому полягає перевага гнучких систем керування зі зворотним зв'язком в порівнянні з жорсткими?
7. В чому полягає перевага мікропроцесорних систем керування в порівнянні з електромеханічними та аналоговими електронними?
8. Яка інформація міститься в лінгвістичній моделі системи керування?
9. Назвіть варіанти апаратних композицій структурі систем керування та поясніть їх відзнаку.
10. Які лінії CAN в'язків розрізняють в автомобільних системах керування?
11. Назвіть переваги застосування CAN зв'язку.
12. Яку інформацію містить кадр даних, що передається через CAN шину?
13. Назвіть загальні класифікаційні ознаки вимірювальних датчиків.
14. Назвіть особливості експлуатації та позначення автомобільних датчиків.
15. Назвіть класифікаційні ознаки виконавчих пристроїв автомобільних систем.
16. Які основні функціональні блоки входять до складу ЕБК?
17. Яка інформація зберігається в різних типах запам'ятовуючих пристроїв ЕБК автомобільних систем?
18. Які схеми узгодження та апаратних драйверів використовуються для периферійних пристроїв ЕБК?
19. Яким чином реалізується система моніторингу в автомобільних системах?
20. Поясніть застосування ШІМ і ЧІМ регуляторів для керування ВП.
21. Поясніть застосування ПІД регуляторів для поліпшення динамічних якостей об'єктів керування автомобільних систем.
22. Наведіть порівняльний аналіз методів реалізації алгоритмів керування?
23. Яким чином реалізуються алгоритми керування в термінах фазі-логіки?
24. Яким чином формуються характеристичні карти систем керування за наперед визначеними показниками?
25. Як реалізується процес адаптації керуючих впливів мехатронної системи з застосуванням характеристичних карт?
26. Визначте поняття, структуру та особливості штучної нейронної мережі.
27. Які завдання вирішуються за допомогою штучних нейронних мереж?
28. За якими ознаками класифікують штучні нейронні мережі?
29. Назвіть переваги та недоліки штучних нейронних мереж перед традиційними обчислювальними методами.

Тема 2. Мехатронні системи трансмісії

2.1. Класифікація і структура приводу автомобіля

Привідна частина автомобіля включає: двигун, трансмісію і колеса, що приводять автомобіль в рух.

Трансмісія (силова передача) – сукупність складальних одиниць і механізмів, що з'єднують двигун з повідними колесами автомобіля для передачі крутного моменту, зміни тягових зусиль, швидкостей і напрямлення руху. В автомобілях частина трансмісії (зчеплення і коробка передач) входить до складу силового агрегату.

До складу *трансмісії* автомобіля входять: зчеплення; коробка передач; роздавальна коробка (коробка відбору потужності); головна передача; диференціал; карданна передача; шарнір рівних кутових швидкостей у складі головної передачі.

У мехатронній системі привідної частини, керуючі впливи на окремі його агрегати здійснюється електронною системою керування в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Лінгвістичні моделі систем керування наведені в табл. 1.1. Структурна класифікація приводу автомобіля визначається різновидом її складових (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Класифікаційна структура приводної частини автомобіля

Визначальним поняттям приводу автомобіля є вид *системи розподілу* крутного моменту. З цих позицій розрізняють: привід на задні колеса FR (через диференціал RWD); привід на передні колеса FF (через диференціал FWD); повний привід 4WD [16].

Системи повного приводу, у свою чергу, відрізняються режимом і способом його вмикання: постійно увімкнений Full-Time 4WD; примусового вмикання Part-Time 4WD; з автоматичним вмиканням All-Wheel Drive (AWD) (рис. 2.2).

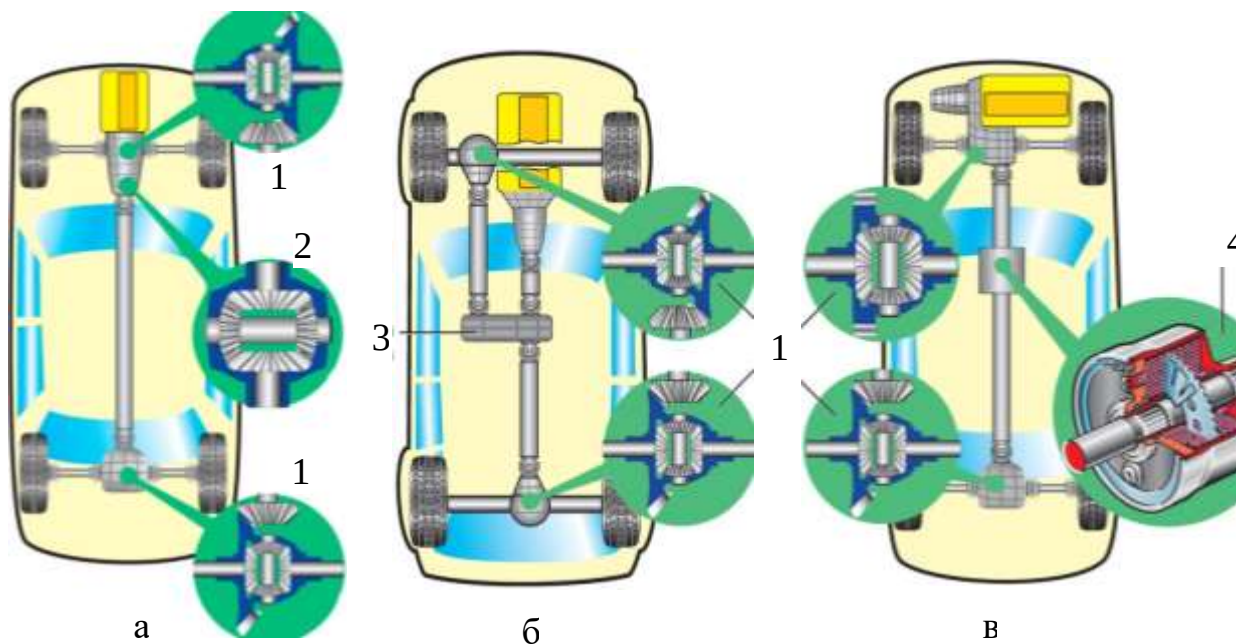


Рис. 2.2. Системи повного приводу автомобіля: а – постійно увімкнений; б – примусового вмикання; в – з автоматичним вмиканням

Привод Full-Time 4WD (рис. 2.2, а) використовує режим 4WD постійно. Така система приводу функціонує однаково на будь-якому типі дорожньої поверхні. У такій системі обов'язково використовуються додаткові блокування міжколісних 1 та міжосьових 2 диференціалів.

Привод Part-Time 4WD (рис. 2.2, б) найпростіша і надійна система, яка надає можливість вибору способу приводу автомобіля, за допомогою роздавальної коробки 3, залежно від дорожньої ситуації. Селектор вибору приводу дозволяє реалізувати три режими 2WD, 4WD High, 4WD Low. Головний недолік такої системи це ненадійна робота в режимі 4WD на сухому асфальті (може призвести до пошкодження механізму). Таким чином, основний час використовується режим 2WD, а при необхідності, задіється режим 4WD. В сучасних автомобілях, використовуються коробки відбору потужності на замовлення з електричним керуванням, які керуються в напівавтоматичному режимі.

Привод AWD використовується в кроссоверах (рис. 2.2, в). Цей тип приводу, як правило, передає крутний момент на передні колеса і лише при необхідності автоматично підключає в роботу задні колеса через муфту обмеженого тертя 4. Підключення заднього мосту може здійснюватися або неелектричною муфтою реактивної дії (в'язкістною, героторною, муфтою Torsen), або муфтою з електричним керуванням (муфтою Haldex). В останньому випадку, на відзнаку від Full-time 4WD, рішення про вибір режиму приводу приймає бортовий комп'ютер на підставі інформації від датчиків кутових швидкостей кожного колеса. Автомобіль використовує режим 2WD доки будь-яке з коліс не почне прослизати. Якщо це сталося, то підключається повний привід. Далі бортовий комп'ютер визначає, в якій пропорції розподілити крутний момент від двигуна по осях автомобіля за допомогою електрично керованих муфт.

При визначенні типу системи повного приводу використовуються маркетингові назви, які характеризують спосіб керування приводом, використаний розробником-виробником [17].

2.2. Зчеплення і коробки перемикання передач

Існує кілька видів зчеплення: механічне (фрикційне), електромагнітне, гідравлічне, комбіновані варіанти. Конструкція зчеплення складається з декількох елементів, різноманітність поєднань яких визначає тип зчеплення. Системи зчеплення *класифікують за загальними ознаками*:

- конфігурацією: одно-поточні і двох-поточні);
- видом тертя: мокре (у маслі) і сухе (у повітрі);
- режимом вмикання: постійно і не постійно замкнуті;
- кількістю наявних ведених дисків: одно-дискові, двох-дискові і багатодискові.
- типу пружини: з діафрагмовою (у центрі) і із циліндричною (по колу) розміщенням;
- способом керування: механічні, електромеханічні, пневмоелектричні, гідроелектричні, електромагнітні порошкові.

Найчастіше на автомобілях зустрічається одно-дискове зчеплення сухого типу. У механічному зчепленні використовуються сили сухого тертя. Гідравлічний тип з'єднання валу двигуна з валом коробки передач (КПП) відбувається завдяки потоку рідини (рідинного тертя). Електромагнітний тип працює за рахунок магнітного поля.

Конструктивною відмінністю електромеханічної системи від механічної є електромотор. Він включається в момент натискання педалі зчеплення. Електромотор 1 переміщує трос, який зміщує віджимний підшипник 2 через коромисло 3 (рис. 2.3, а).



Рис. 2.3. Елементи електричних зчеплень:

а – агрегат у зборі; б, в – актуатор електромоторний; г – пневмoeлектричний підсилювач

У зчепленнях з електронним керуванням також застосовуються актуатори безпосереднього впливу на вилку зчеплення (рис. 2.3, б, в). До складу таких актуаторів входять датчики зворотного зв'язку.

Зчеплення з електронним керуванням еСS (Electronic Clutch System) істотно спрощує процес керування механічною коробкою передач, дозволяє економити паливо [18]. В системі еСS використовується інформація з датчиків різного призначення (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Датчики системи керування зчепленням:

а – псевдопедаль; б – положення важеля; в – частоти обертання; г – тиску; д – температури

Псевдопедаль зчеплення влаштована аналогічно електронній педалі акселератора. Датчик положення важеля селектора (інгібітор) також представляє потенціометр, що складається з набору резистив-

них пластин. Датчики частоти обертання енкриментного типу входять до складу систем керування ДВЗ та коробки передач. Крім того, робота зчеплення регламентується температурою і тиском робочих рідин в силових агрегатах приводу. Для реалізації гнучких алгоритмів керування зчепленням додатково використовується інформація про стан педалей акселератора і гальма.

За допомогою системи eCS реалізується кілька функцій:

- рух в режимі частих рушень і зупинок;
- плавне перемикання передач;
- керований рух накатом;
- розширення можливостей системи «Стоп-старт».

Перша функція дозволяє автомобілю рухатися на першій передачі без використання педалі зчеплення. При відпущеній педалі газу система автоматично розмикає зчеплення. При подальшому гальмуванні двигун не глухне, тому що від'єднаний від трансмісії. Рушання з місця відбувається при відпущенні педалі гальма. Все як в автоматичній коробці передач, тільки на першій передачі.

Друга функція – синхронізація перемикання передач активізується на підставі сигналу датчика, який визначає момент переходу з однієї передачі на іншу. При цьому, електронне зчеплення через систему керування двигуном збільшує або зменшує оберти двигуна, чим досягається плавне перемикання передач.

Останні дві функції спрямовані на економію палива. При русі накатом виключається гальмування двигуном за рахунок регульованого вибігу. При відпущеній педалі газу система eCS вимикає зчеплення і автомобіль рухається накатом. У режимі «Стоп-старт», при знятті ноги з педалі газу на першій передачі відбувається не тільки від'єднання двигуна від трансмісії, а ще й його вимикання.

В системі електронного зчеплення ЕКМ немає необхідності в педалі зчеплення, так як включенням і вимиканням керують електронний і гідравлічний блоки [19]. Електронний блок відповідно до отриманих даних від датчиків положення коленвала, дросельної заслінки, педалі газу, передає команди на електроклапани гідравлічного блоку, який приводить в дію механізм зчеплення. При відпусканні педалі акселератора, подається команда на відключення (послаблення) зчеплення. Застосування такого алгоритму забезпечує плавність перемикання передач і виключення ймовірності випадкової зупинки ДВЗ. На момент перемикання передачі (сигнал інгібітора), зчеплен-

ня автоматично вимикається до вмикання наступної передачі. При цьому, немає необхідності прибирати ногу з педалі газу.

Механічні коробки перемикання передач МКП (прості і планетарні) містять лише шестерні і фрикційні пристрої. Їх переваги: високий ККД, компактність, мала маса, надійність в роботі, відносна простота у виробництві і експлуатації. Недоліком механічної трансмісії є ступінчастість зміни передавальних чисел, що знижує використання потужності двигуна. Значний час на перемикання передач важелем ускладнює керування автомобілем.

Гідромеханічні коробки перемикання передач ГМКП мають гідродинамічний перетворювач моменту (гідротрансформатор, комплексна гідропередача) і редуктор. Переваги цих трансмісій: автоматична зміна крутного моменту залежно від зовнішніх опорів; можливість автоматизації перемикання передач; фільтрація крутильних коливань і зниження пікових навантажень, що діють на агрегати трансмісії і двигуна, підвищена надійність і довговічність. Основним недоліком цих трансмісій є порівняно низький ККД через низький ККД гідротрансформатора.

Автоматична коробка перемикання передач АКП перемикає передачі самостійно залежно від швидкості автомобіля і забезпечує водієві комфортні умови водіння.

Окремо виділяють *роботизовану коробку перемикання передач* РКП, де роз'єднання зчеплення і перемикання передач також відбувається автоматично, але відсутній гідротрансформатор. Механізм агрегату являє механічну коробку, оснащену сервоприводами перемикання. Керування РКП здійснюється в ручному і автоматичному режимах. Приводи керування коробкою можуть бути гідроелектричними (електроклапанні) або електромеханічними (соленоїдні, електромоторні). Один з приводів стежить за зчепленням, другий – керує механізмом перемикання передач (рис. 2.5).

Периферійними пристроями ЕБК системи РКП (рис. 2.5, а) є: актуатор вмикання зчеплення «А» через вилку «В»; актуатор перемикання передач «Б»; датчик швидкості обертання первинного валу «Г». Актуатор перемикання передач (рис. 2.5, в) включає: 1 – шток вибору передач; 2 – привід вмикання передач; 3 – привід вибору передач; 4 – електромотори. Актуатор перемикання зчеплення складається з: 1 – привідної шестерні; 2 – штока вилки зчеплення; 3 – компенсатора зносу; 4 – компенсаційної пружини [20] (рис. 2.5, г).

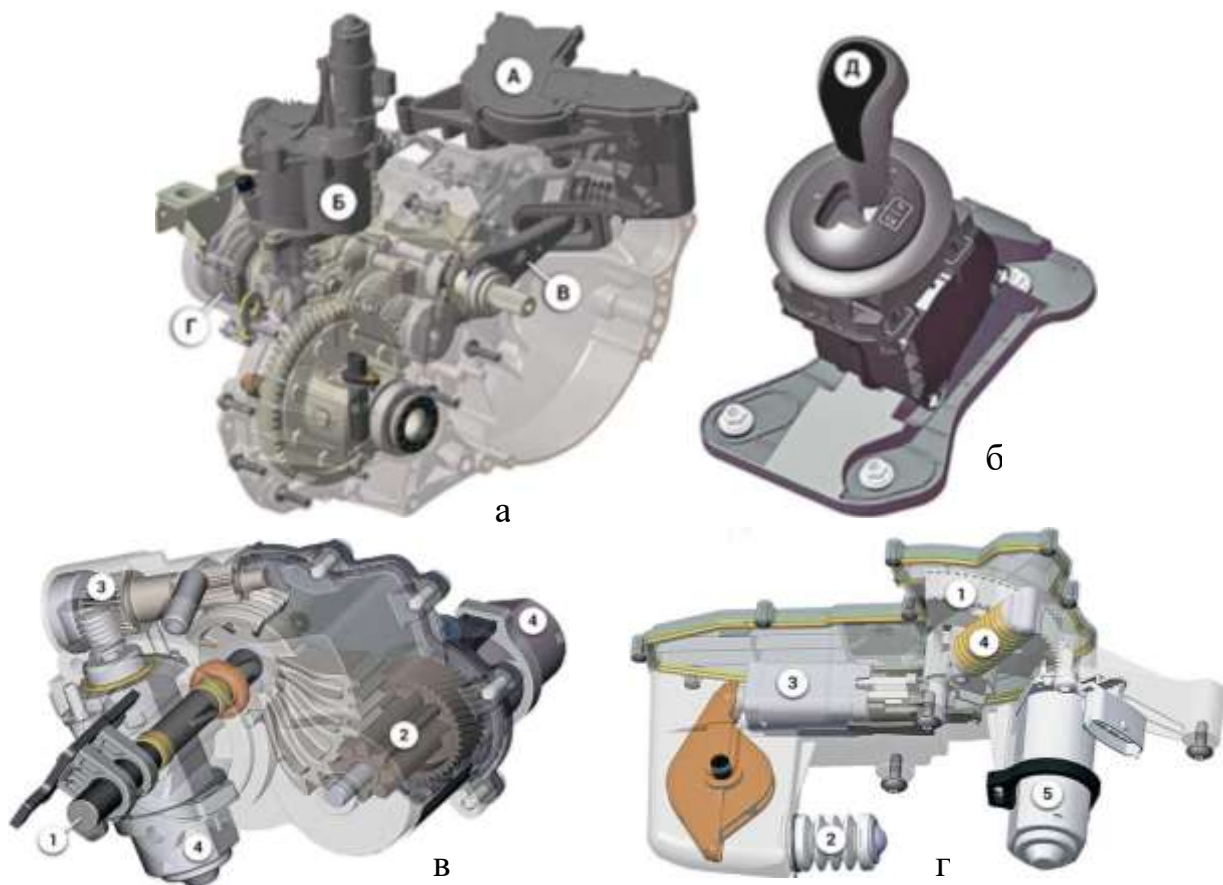


Рис. 2.5. Роботизована коробка передач АМТ 2182:

а – коробка у зборі з актуаторами; б – інгібітор; в – актуатор перемикання передач; г – актуатор перемикання зчеплення

У роботизованій коробці електрогідравлічного типу система керування додатково оснащена блоком керування гідроциліндрами. Для керування РКП не потрібна педаль зчеплення. Її функції передає системі керування.

Система керування РКП типу SD (Senso Drive) включає датчики частоти обертання 4, положення вилок зчеплення і селектора передач 8 або 9, тиску і температури масла (рис. 2.6).

Дані з датчиків передаються в ЕБК 1, який контролює електро-моторний актуатор перемикання передач 3 і електрогідравлічний привід зчеплення 2. Блок керування 1 кореспондує з модулем центрального процесора 5 та блоками керування ДВЗ 6 і ABS 7. Блок керування 1 обробляє інформацію, отриману від сенсорів, і визначає оптимальну швидкість та момент перемикання для злагодженої роботи механізмів (без педалі зчеплення).

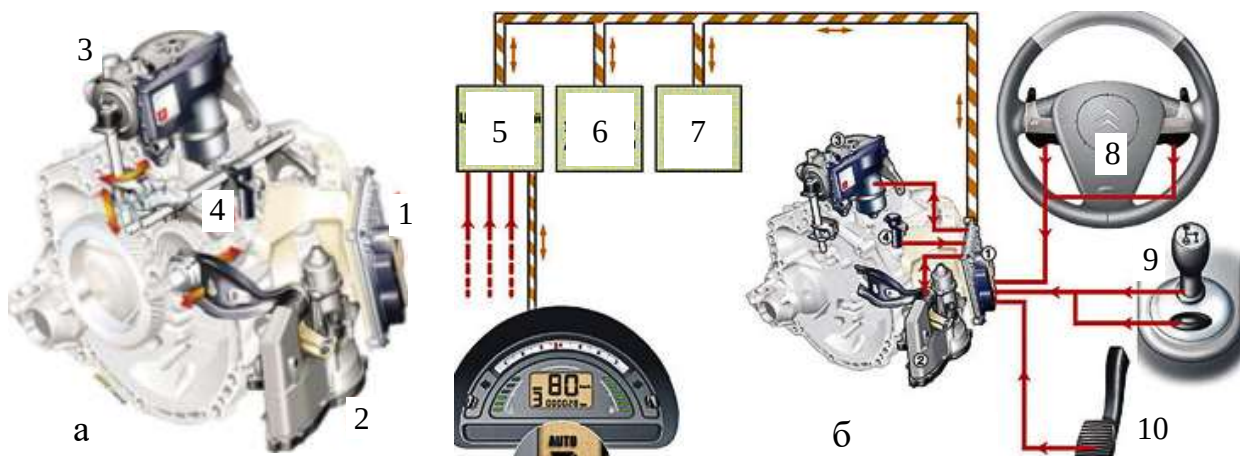


Рис. 2.6. Керування РКП типу SD:
а – керуючі впливи; б – конфігурація системи керування

При цьому, береться до уваги швидкість обертання двигуна, робота кондиціонера, показники спідометра. В автоматичному режимі коробка керується за певним алгоритмом, який задається ЕБК по сигналу з датчика положення педалі акселератора 10, а в напівавтоматичному – аналогічно ручному перемиканню передач за допомогою селектора 8 або 9.

Роботизована коробка передач прямого перемикання DSG (Direct Shift Gearbox) має два співвісних диска зчеплення. За координацію дій всієї системи відповідає мехатронний блок (рис. 2.7, а).

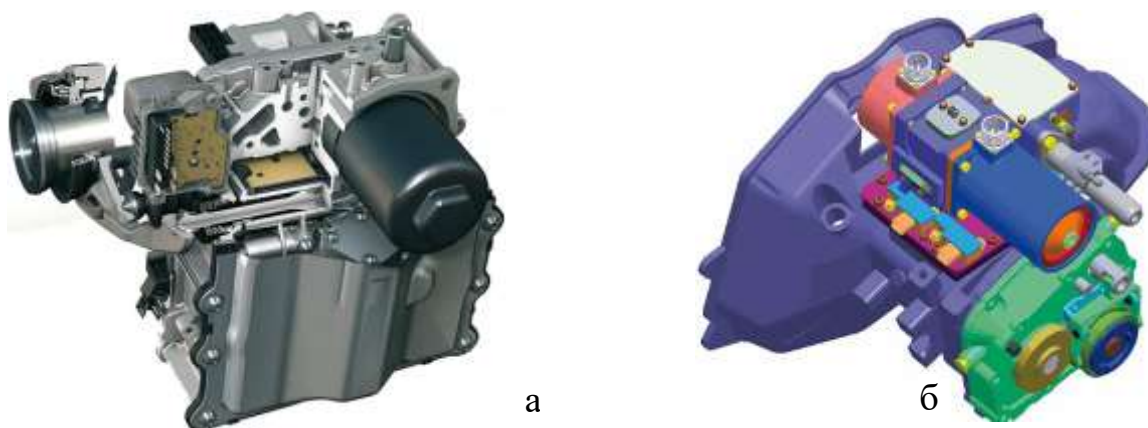


Рис. 2.7. Інтегровані мехатронні блоки керування РКП:
а – типу DSG; б – типу Easytronic

Він збирає інформацію про частоту обертання двигуна і вторинних валів КПП, а далі дає команди на вмикання потрібного диска зчеплення і своєчасну зміну передач за допомогою гідроелектричних актуаторів. Ці важелі з'єднуються з шестернею потрібної передачі і

вмикають її, саме так, як робить це водій, коли перемикає вручну передачі на МКП. Через одне зчеплення працюють непарні і задня передачі, а через інше – парні. За рахунок такого пристрою здійснюється плавний перехід від однієї ступені до іншої.

Наприклад, автомобіль рухається на першій передачі, а шестерня другої передачі вже в зачепленні, але обертається поки вхолосту. У момент перемикання, який визначається комп'ютером, гідравлічні приводи одночасно відпускають перше зчеплення і замикають друге. Крутний момент, що йде від двигуна, передається від першої передачі на другу. Подальші перемикання виконуються аналогічно. При зниженні передач процес повторюється в зворотній послідовності. В результаті, двигун постійно з'єднаний з трансмісією, а перемикання передач здійснюється без розриву потоку потужності. Переваги DSG – скорочується час розгону і економиться паливо. При цьому, перемикання передач не відчуються. У салоні дві педалі – газ і гальмо.

Фірма Ricardo на прикладі РКП Easytronic також запропонувала замінити роздільні актуатори для зчеплення і вибору передачі інтегрованим електромагнітним актуатором (рис.2.7, б).

У порівнянні з МКП, автоматичні коробки АКП мають ряд переваг: підвищують комфортність водіння автомобіля; узгоджують перемикання передач з режимами ДВЗ і руху; оберігають ДВЗ і ходову частину автомобіля від перевантажень; передбачають ручне і автоматичне перемикання швидкостей. Розрізняють два типи планетарних АКП – з гідравлічним пристроєм керування (механічним насосом і гідромеханічними клапанами) і з електронним пристроєм керування гідравлічними електроклапанами. Складові частини автоматичних трансмісій обох типів практично однакові (рис. 2.8).

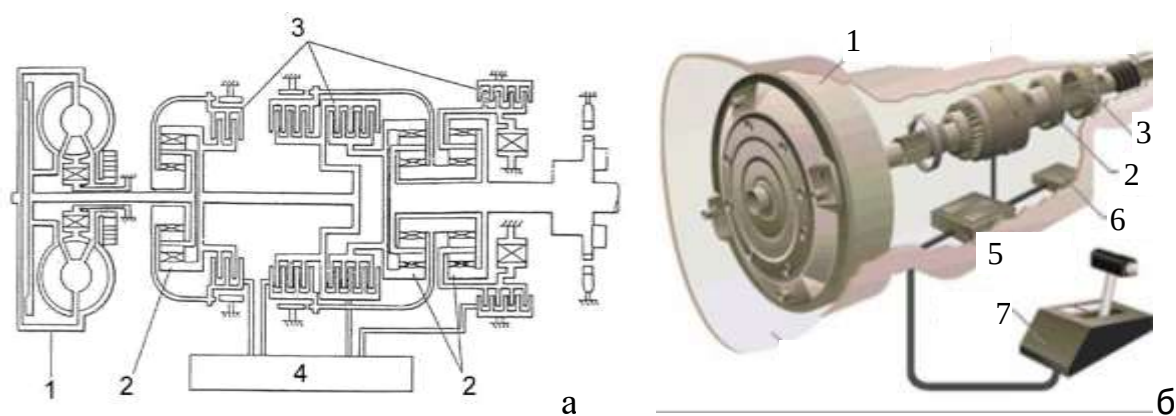


Рис. 2.8. Схеми пристрою АКП:
а – гідравлічного типу; б – гідроелектричного типу

На рисунку 2.8 позначено: 1 – гідротрансформатор; 2 – планетарний ряд; 3 – гальмівна стрічка, передній фрикціон, задній фрикціон; 4 – пристрій гідравлічного керування; 5 – гідроелектричний блок; 6 – ЕБК; 7 – інгібітор.

Гідротрансформатор служить для передачі крутного моменту безпосередньо від двигуна до елементів АКП і складається з: насосного колеса; плити блокування гідротрансформатора; турбінного колеса; статора; обгінної муфти. Гідротрансформатор працює за принципом передачі обертання через шар рідини. Ступінь зв'язку насосного колеса з турбінним можна плавно змінювати електричним способом. Через низький ККД гідротрансформатор використовується тільки у якості рідинної муфти зчеплення.

В АКП реалізуються функції (опції) «Overdrive» і «Kickdown». Опція «Overdrive» (аналог підвищених передач МКП) забезпечує ефективну роботу двигуна при їзді по трасі на тривалій дистанції і на високій швидкості. Опція «Kickdown» (аналог нижніх передач МКП) допомагає отримати від двигуна максимум при різкому прискоренні для обгону або при русі вгору по похилій поверхні. Kickdown це спеціальне пристосування, завдяки якому знижується тиск масла в АКП і відбувається різке переключення передач з більш високих на більш низькі. Процес запускається при спрацьовуванні датчика кінцевого положення педалі газу. Щоб переключитися на знижену передачу на АКП, потрібно знизити тиск масла в системі. При різкому натисканні педалі газу, спрацьовує соленоїд і відкривається клапан Kickdown. Після відпущення педалі газу, тиск в системі починає збільшуватися за рахунок зростання обертів двигуна, в результаті чого, клапан закривається і відбувається перемикання на більш високі передачі.

Гідроелектричний блок АКП являє гідравлічну комунікаційну коробку з інтегрованими електромагнітними клапанами (соленоїдами) різного призначення і конструкції (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Конструкції гідроелектричних блоків АКП

Наприклад, система ETC (Electronic Traction Control) у гідроблоку містить шість електроклапанів (рис. 2.10).

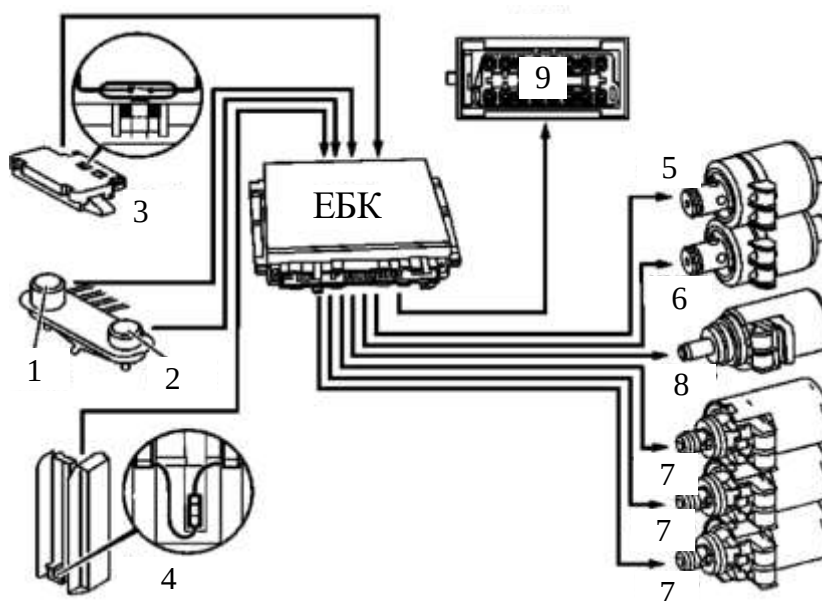


Рис. 2.10. Склад системи керування АКП типу ETC:

1, 2 – датчики оборотів на вході і виході; 3 – контакт блокування стартера;
4 – датчик температури масла; 5 – клапан модуляції тиску; 6 – головний клапан перемикавання; 7 – клапани перемикаць передач; 8 – клапан блокування гідротрансформатора; 9 – діагностичний роз'єм

Крім інформації з персональних датчиків, ЕБК системи ETC по CAN-шині обмінюється даними з блоками керування: інгібітором; ДВЗ; протибуксовочною системою; системою імобілайзера.

У більш досконалих системах можуть використовуватися багатоступінчасті електроклапани і клапани додаткового призначення: прослизання; охолодження; гальмування. У системах керування гідроелектричними трансмісіями комбінованої структури розглядаються дві підсистеми – керування АКП і керування роздавальною муфтою (або багатодисковою муфтою міжосьового диференціала). У таких системах додатково задіється електромагнітний клапан керування приводом задніх коліс.

Варіаторна АКП – безступінчаста трансмісія з зовнішнім керуванням, яка дозволяє автоматично змінювати передавальне число, вибираючи оптимальне, згідно навантаженню і обертам двигуна. Отримали поширення два види варіаторних коробок передач – клиноремінні і тороїдні.

Клиноремінний варіатор складається з однієї або двох ремінних передач, де шків утворені конічними дисками, за рахунок зрушу-

вання і розсовування яких, змінюються діаметри шківів і, відповідно, передавальне число. В трансмісії Multitronic замість ременя застосовують ланцюг, а Honda ставить набраний з металевих пластин ремінь, але принцип не змінюється (рис. 2.11, а).

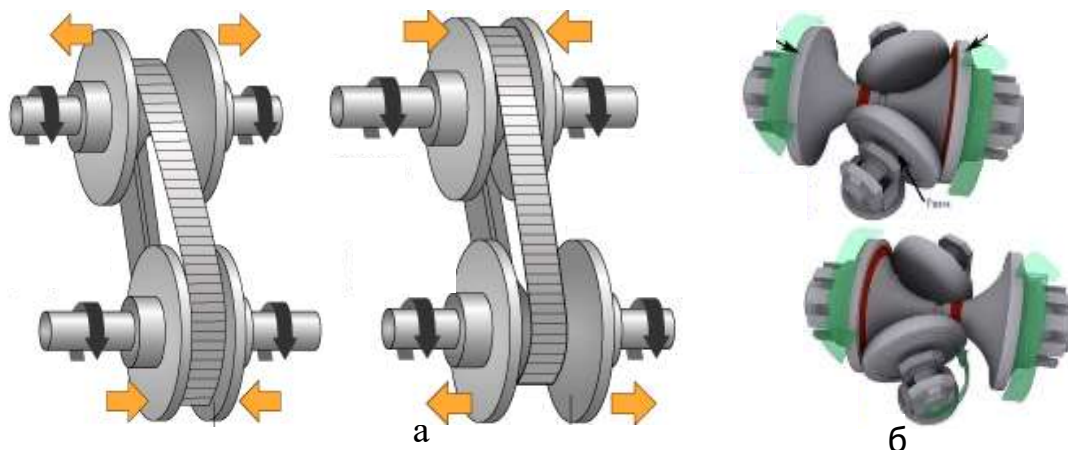


Рис. 2.11. Принцип будови варіаторної АКП:
а – клиноремінного типу; б – тороїдного типу

Для початку руху автомобіля з місця використовується звичайне зчеплення або невеликий гідротрансформатор, який після початку руху блокується. Керування дисками шківів здійснює або механічний відцентровий регулятор або гідроелектричний привід (рис. 2.12).

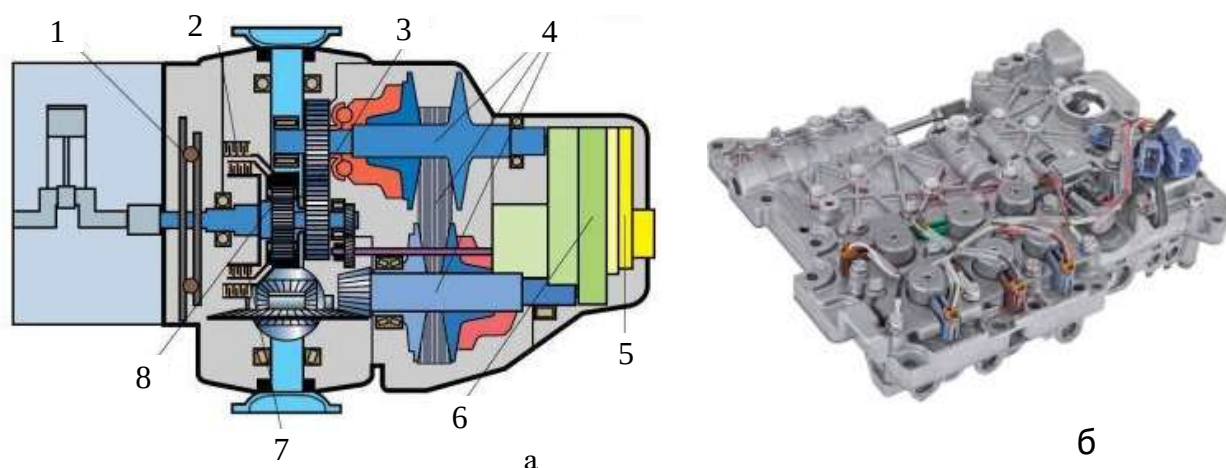


Рис. 2.12. Устрій клиноремісної варіаторної АКП:
а – компоновка вузлів; б – зовнішній вигляд гідроелектричного блоку

На рис. 2.12 позначено: 1 – маховик з демпфером крутильних коливань; 2 – фрикціон заднього ходу; 3 – проміжна передача; 4 – варіатор; 5 – ЕБК; 6 – гідроелектричний блок керування; 7 – фрикціон переднього ходу; 8 – планетарний механізм.

Привід кожного з шківів складається з двох гідроциліндрів – притискного і регулювального. Сила, з якою диски притискаються до ланцюга, контролюється датчиком крутного моменту. Датчик встановлений на провідному диску. Гідроелектричний блок також здійснює керування фрикціонами переднього і заднього ходу, регулює тиск робочої рідини в системі і забезпечує охолодження фрикціонів.

Тороїдний варіатор складається з співвісних дисків і роликів, що передають момент від одного диска до іншого. Для зміни передавального числа змінюється положення роликів і їх радіуси, за якими ролики обкачують диски (рис. 2.11, б). Синхронне керування станом роликів переважно здійснюється електричним сервоприводом.

2.3. Передаточні муфти та роздаткові коробки

До пристроїв розподілу крутного моменту відносяться: передаточні муфти; роздаткові коробки; диференціали.

Передаточні муфти зчеплення класифікують за рядом ознак:

- призначенням: вільного ходу (обгінні), зчіпні (жорсткі), підвищеного (обмеженого) тертя (LSD-муфти);
- ступенем блокування: неблокована, блокована примусово, само-блокована;
- характером тертя: фрикційні (сухе тертя), віскомуфти (тертя в'язкості);
- принципом будови: механічні, гідравлічні (героїдні), пневматичні, електромагнітні, комбіновані;
- ступенем керування: функціональної передачі, дискретного вмикання;
- способом керування: неелектричні, електроклапанні, соленоїдні.
- типом промислової реалізації: АТС-муфти, ІТМ-муфти, TOD-муфти, муфти Haldex.

Фрикційна муфта – пристрій, призначений для передачі обертового моменту за рахунок сили тертя ковзання. Фрикційні муфти розрізняють за трьома ознаками:

- конструкції робочих поверхонь: дискові, конусні, барабанні, стрічкові;
- способу створення сил тертя з механізмами натискування: пружини, зовнішнього навантаження, відцентрового автомата, кула-

чкової шайби, гідравлічним (пневматичним) циліндром, електромагнітним приводом;

- типу сил тертя: сухі, мастильні.

Конструкція багатодискової муфти з гідравлічним (поршневим) керуванням складається з: фрикційних дисків 1; сталевих дисків 2; маточини 3; повертаючої пружини 4; поршня 5 (рис. 2.13, а).

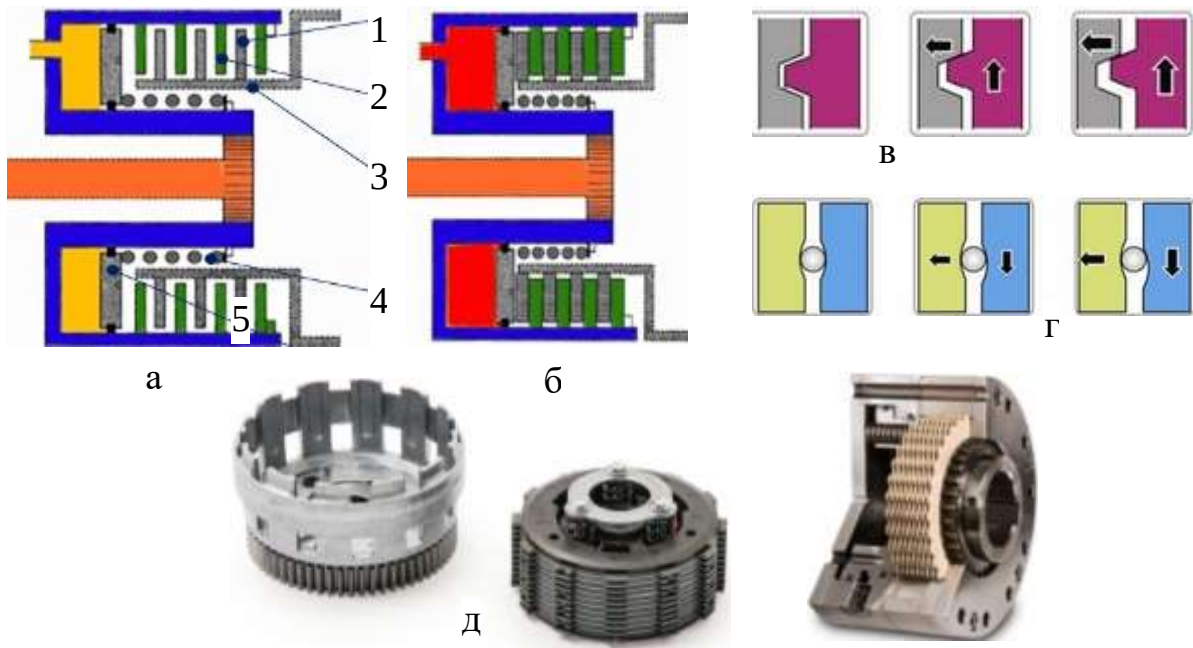


Рис. 2.13. Устрій фрикційної муфти:

а – без подачі керуючого тиску; б - у включеному стані; в, г – притискні механізми; д – зовнішній вигляд

Для зміни ступеню зчеплення в фрикційних муфтах обмеженого тертя також використовуються дискові притискні механізми кулачкового типу (рис. 2.13, в), що використовується для самостійного блокування і кулькового типу (рис. 2.13, г), – для електромеханічного блокування.

Віскомуфта обмеженого тертя (LSD-муфти) – механічний пристрій, що передає крутний момент за допомогою в'язкої рідини. Складається з двох наборів дисків, які чергуються (повідні та ведені), що мають виступи і отвори. Диски розташовані близько один до одного в циліндричному герметичному корпусі (рис. 2.14).

Корпус заповнений дилатантні рідини на силіконовій основі. Коли пластини обертаються з однаковою частотою, частинки рідини майже не перемішуються, і в'язкість її невелика.

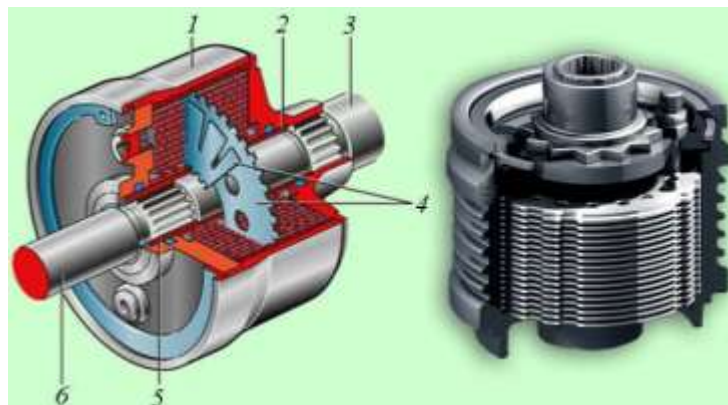


Рис. 2.14. Устрій вязкісної муфти:

1 – корпус; 2 – вал; 3, 6 – повідний і ведений вали; 4 – диски; 5 – ущільнення

Якщо один з валів обертається швидше, рідина переміщується, її в'язкість, в силу ділатантних властивостей, починає прогресивно зростати, збільшуючи силу зчеплення. У деяких вязкісних муфтах, рідина акумулює тепло, що утворюється при в'язкому терті. Як наслідок, рідина розширюється та поліпшує притиснення дисків один до одного, що збільшує тертя (не в'язке) між ними.

Геройдна муфта у своєму складі має героторний насос (принцип дії, як у шестеренчатого масляного). Ротор насоса приводиться вхідним валом, а корпус – вихідним (рис. 2.15).

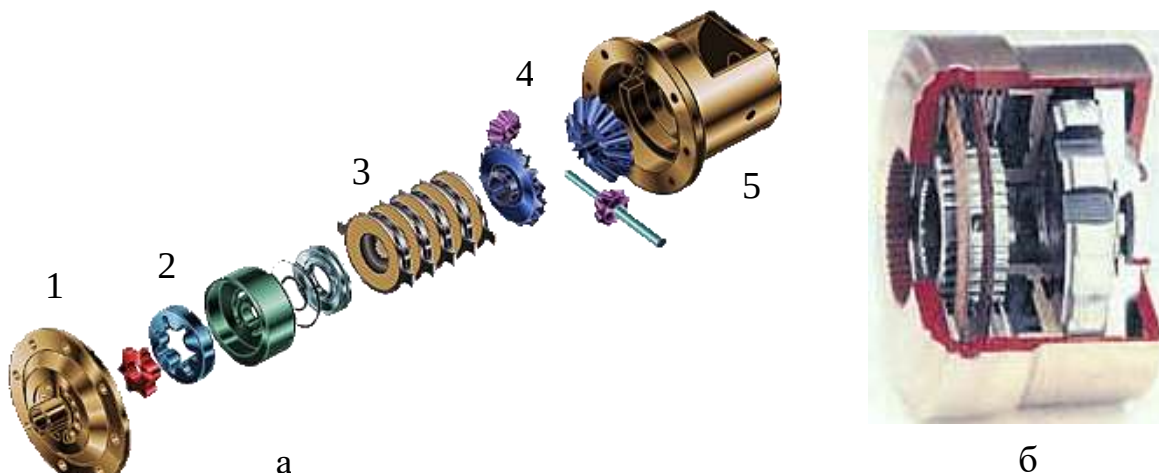


Рис. 2.15. Геройдна муфта: а – устрій; б – загальний вигляд

На рис. 2.15 позначено: 1 – передня кришка; 2 – гідронасос; 3 – фрикційні диски; 4 – планетарна передача; 5 – задня кришка. Тиск масла залежить від різниці швидкостей обертання валів. Створюваний в результаті тиск, передається через поршень до

багатодискової фрикційної муфти. Сила тертя в муфті зростає і вали блокуються.

Жорсткі зчіпні муфти призначені для повної передачі крутного моменту за рахунок введення в зачеплення торцевих зубчастих дисків. Керування зачепленням проводиться або за допомогою мембранного пневмопривода, або за допомогою електромагніту (рис. 2.16).

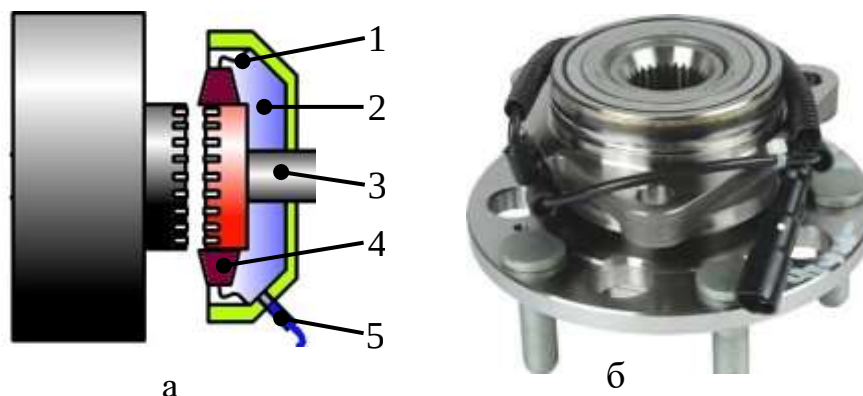


Рис. 2.16. Устрій зчіпних муфт:

а – з пневматичним приводом; б – з електромагнітним приводом

На рис. 2.16 позначено: 1 – мембрана; 2 – пневмокамера; 3 – повідний вал; 4 – монтажне кільце; 5 – пневмоканал. Застосовуються в системах приводів TOD (Torque on Demand – крутний момент на вимогу) та ADD (Automatic Differential Disconnect – автоматичне відключення диференціала).

Електромагнітні керовані муфти мають обмотку (соленоїд), поле якої впливає на переміщення в осьовому напрямку сердечника (валу) з притискним механізмом [21]. Для фрикційної передачі крутного моменту розрізняють конструкції муфт з безпосереднім електромагнітним керуванням (ІТМ муфти) і муфти з керуючим фрикціоном (АТС муфти), заповнені маслом (рис. 2.17).

Конструкція електромагнітних муфт безпосереднього керування (рис. 2.17, а) включає: кришку повідного вала 1; посадку веденого вала 2; соленоїд 3; кульковий механізм 4; якірний диск 5; пакет фрикціона 6. Роторная частина муфти поміщена в робочу рідину 7. Муфти такого улаштування ІТМ (InterActive Torque Management) і VTM-4 (Variable Torque Management) використовуються в системі повного приводу автомобілів Honda.

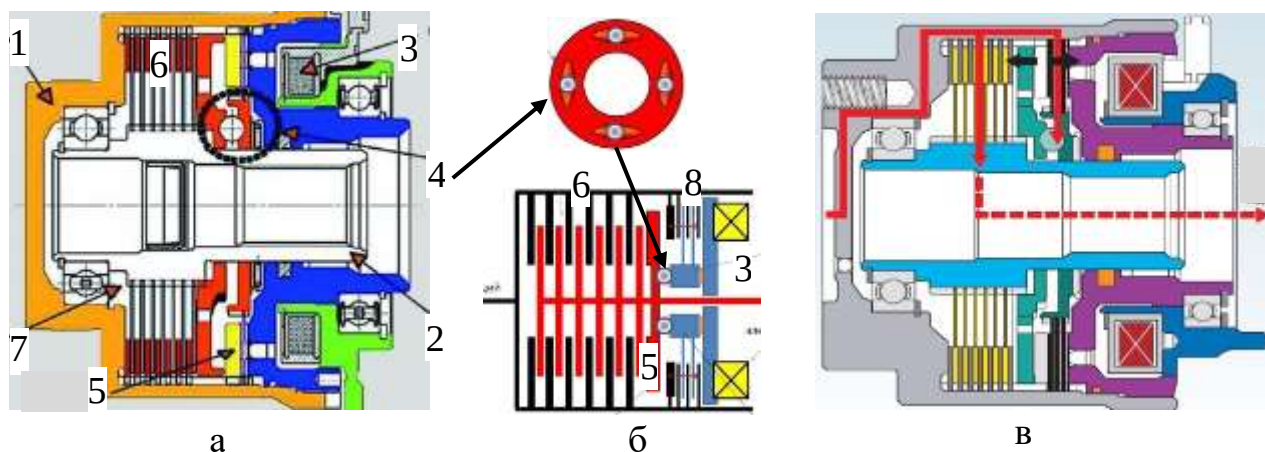


Рис. 2.17. Електромагнітні фрикційні муфти:

а – пристрій з безпосереднім керуванням; б – схема з керуючим фрикціоном;
в – передача крутного моменту в муфті з керуючим фрикціоном

Для зниження потужності електромагніту при заданому зусиллі зчеплення, в конструкцію муфти додають ланку підсилення – керуючий фрикціон 8 (рис. 2.17, б).

Муфта ATC (Active Torque Control) – електромеханічна муфта, що використовується фірмою Toyota в системах 4WD on-demand. На деяких моделях, система позначається DTC (Dynamic Torque Control). Муфта забезпечує передачу моменту на задню вісь, яка підключається, і встановлюється безпосередньо перед заднім редуктором. Зовнішні частини головного 7 і керуючого 8 фрикціонів закріплені на передній кришці повідного валу 1, внутрішня частина головного фрикціона – на веденому валу 4, внутрішня частина керуючого фрикціона – на фасонній шайбі притискного механізму 3. У початковому стані (електромагніт знеструмлений) фрикціони вимкнені, потужність через муфту не передається.

При подачі струму на соленоїд 2, якірна частина притягується і замикається керуючий фрикціон 8. При цьому, фасонна шайба провертається, кульки переміщуються по пазах, забезпечуючи поступальний рух притискному диску 9, який, у свою чергу, стискає пакет головного фрикціона 7. Потужність передається від передньої кришки (повідного валу) на ведений вал (рис. 2.17, в). Значення притискного зусилля та моменту, що передається, регулюється зміною сили струму в обмотці електромагніту.

Електрогідравлічні муфти Haldex мають кілька конструктивних рішень (поколінь) гідравлічної частини [22]. У першому і другому поколіннях Haldex, різниця швидкостей обертання передньої і зад-

ньої осей автомобіля використовувалася для роботи насоса, що створює робочий тиск масла. Виконавчим пристроєм, який керує тиском в магістралі гідромеханічної фрикційної муфти, є електромагнітний клапан. У IV і V поколіннях, на відміну від попередніх, тиск в гідросистемі муфти створюється електричним насосом і вдосконалена система гідравлічного керування фрикційною муфтою (рис. 2.18).

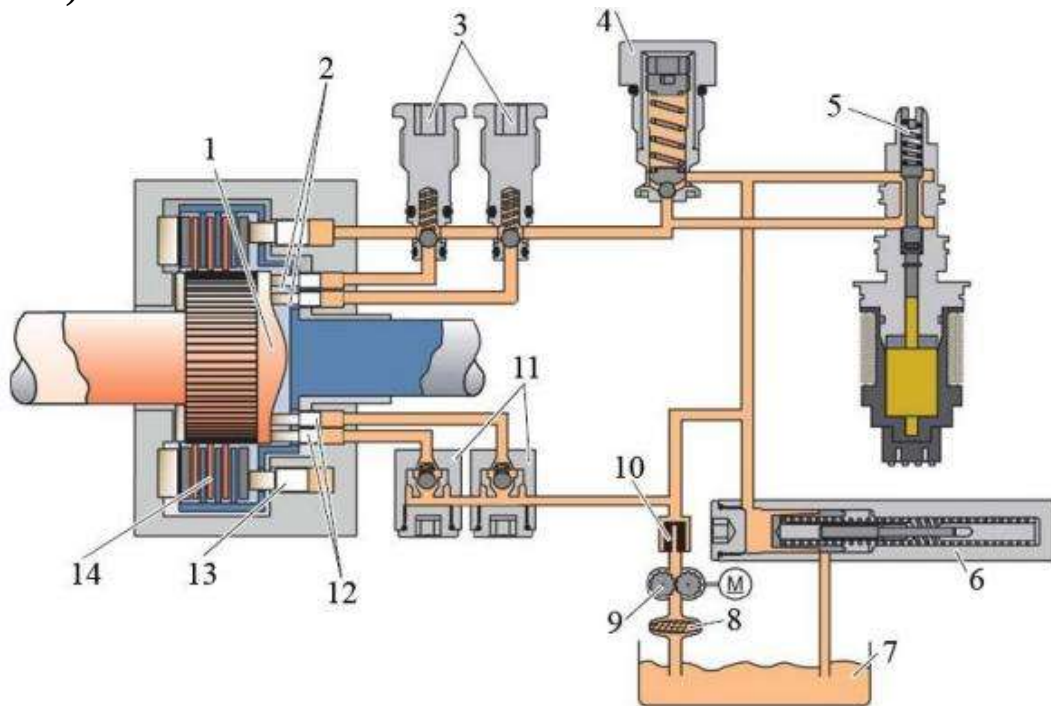


Рис. 2.18. Гідравлічна частина муфти Haldex:

- 1 – кулачкова шайба; 2 – ролики насосних поршнів; 3 – нагнітальні клапани;
 4 – запобіжний клапан; 5 – регулятор тиску керування муфтою;
 6 – гідроаккумулятор; 7 – резервуар робочої рідини; 8 – сітчастий масляний
 фільтр; 9 – електронасос; 10 – фільтр; 11 – впускні клапани; 12 – насосні
 поршні; 13 – робочий поршень; 14 – пакет дисків

Тиск рідини, створюваний електронасосом 9, підтримується гідроаккумулятором 6 і впливає, як на поршні насоса 12, так і на робочий поршень 13. При такій компоновці, поршень насоса прилягає до дискового кулачка і завдяки легкому підпору тиском усувається зазор в наборі фрикційних дисків.

Гідроаккумулятор 6 поряд з підтриманням, вирівнює коливання тиску в системі. Підвищення тиску в магістралі обмежується на заданому рівні за рахунок перепуску масла з неї через акумулятор в резервуар 7. При зниженні тиску, пружина акумулятора розтискається, зменшуючи або повністю припиняючи скидання

масла в ємність. Клапан 4 запобігає збільшенню керуючого тиску вище допустимого, захищаючи деталі муфти від перевантажень. При спрацьовуванні клапана 4, масло перепускається в живильну магістраль і резервуар через гідроаккумулятор. Компонування вузлів і деталей муфти п'ятого покоління показано на рис. 2.19.

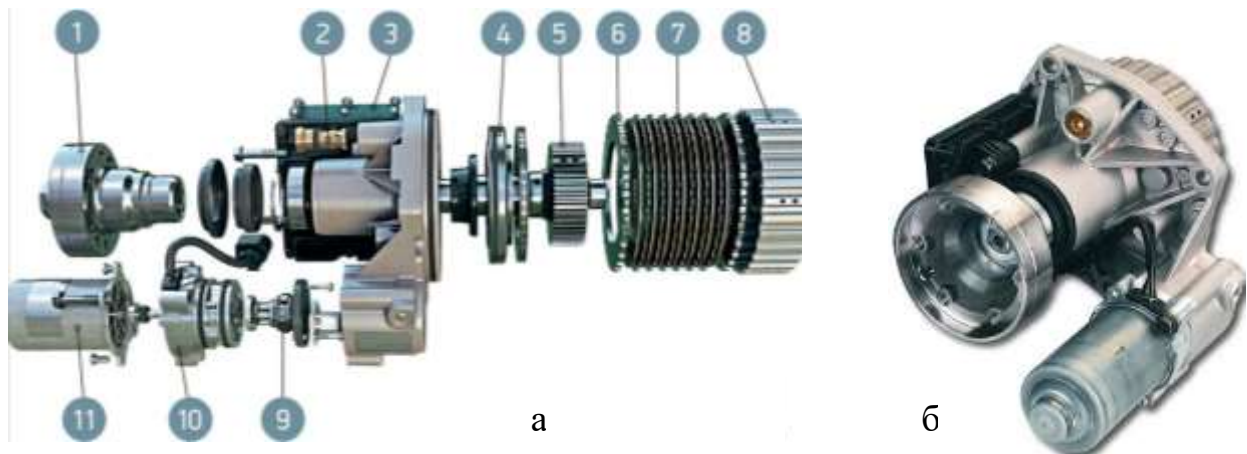


Рис. 2.19. Муфта Haldex п'ятого покоління:
а – устрій; б – зовнішній вигляд

На рис. 2.19 позначено: 1 – фланець кріплення приводу задньої осі; 2 – запобіжний клапан; 3 – електронний блок; 4 – кільцевий поршень; 5 – маточина; 6 – опірні шайби; 7 – фрикціон; 8 – барабан муфти; 9 – аксіально-поршневий насос; 10 – відцентровий регулятор; 11 – електромотор.

Роздаткова коробка – агрегат трансмісії, основною функцією якого є роздача потужності від двигуна між осями. Застосовується тільки на повнопривідних автомобілях [23]. В кінематичному ланцюзі елементів трансмісії автомобіля роздаткова коробка завжди знаходиться після коробки передач, але до головних передач. Додатково, до основної функції, зазвичай, виконує функцію дільника (подвоювача) доступного числа передач. Аналогічно коробці передач розрізняють механічні, напіваавтоматичні і автоматичні роздаткові коробки. В останніх двох використовуються електромеханічні або електрогідравлічні приводи. В автоматичних системах керування перерозподіл моменту між осями залежить від сили стиснення фрикційних муфт (значення сигналу керування).

Коли муфта блокується, частина крутного моменту знімається з задньої осі і передається на передню через роздаткову коробку з

ланцюговим або шестеренчатим приводом. Відмінності в конструкції обумовлені компонованням центрального тунелю (рис. 2.20).

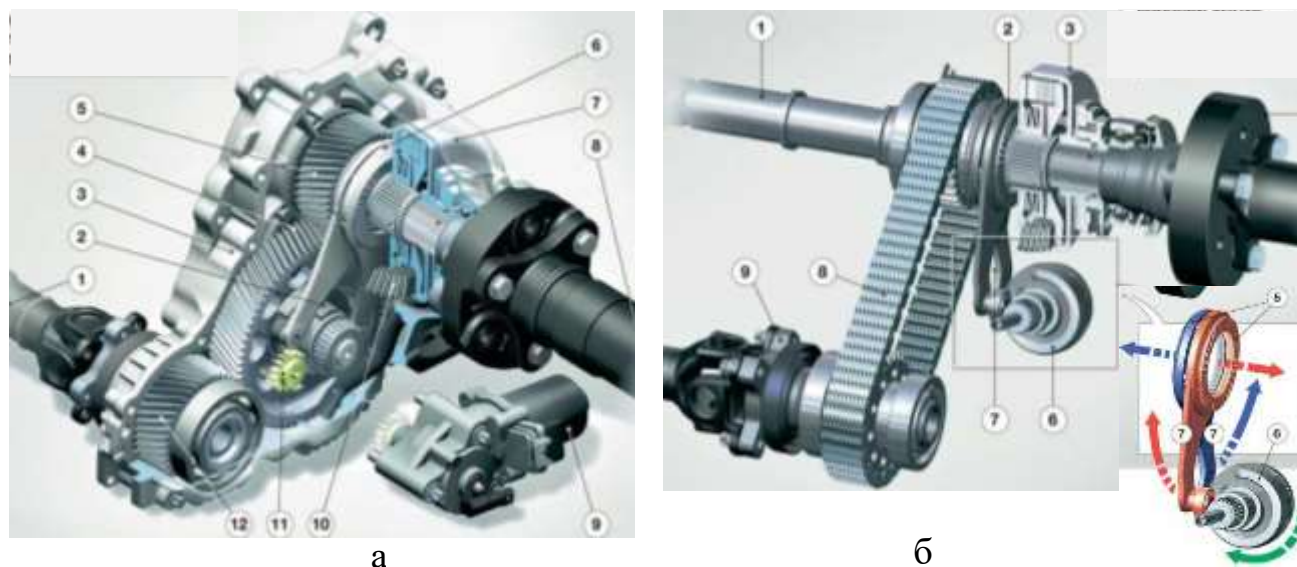


Рис. 2.20. Конструкції роздаткової коробки xDrive:
а – з приводними шестернями; б – з ланцюговим приводом

Стисненням фрикціонів керує серводвигун. Головний важіль перетворює обертальний рух валу електромотора в своє осьове переміщення, яке і активує фрикціон. Для легкових моделей автомобілів знайшли застосування більш компактні конструкції коробки з приводними шестернями. На рис. 2.20, а позначено: 1 – привід на передню вісь; 2 – керуючий кулачок серводвигуна; 3 – корпус; 4 – проміжна шестерня; 5 – повідна шестерня; 6 – головний важіль; 7 – багатодискова муфта; 8 – привід на задню вісь; 9 – серводвигун; 10 – пакет фрикційних дисків; 11 – повідна шестерня серводвигуна; 12 – повідна шестерня передньої осі.

У кроссоверах застосовується агрегат з ланцюговою передачею. На рис. 2.20, б позначено: 1 – вхідний вал від коробки передач; 2 – головний важіль з розтискним механізмом; 3 – багатодискова муфта; 4 – вихідний вал до задніх коліс; 5 – розтискний механізм; 6 – керуючий диск серводвигуна; 7 – плечі важеля; 8 – ланцюг; 9 – вихідний вал до передніх коліс.

Аналогічну конструкцію з електрогідравлічним приводом (як у муфти Haldex) має роздатка коробка нового покоління виробника Borg Warner (рис. 2.21).

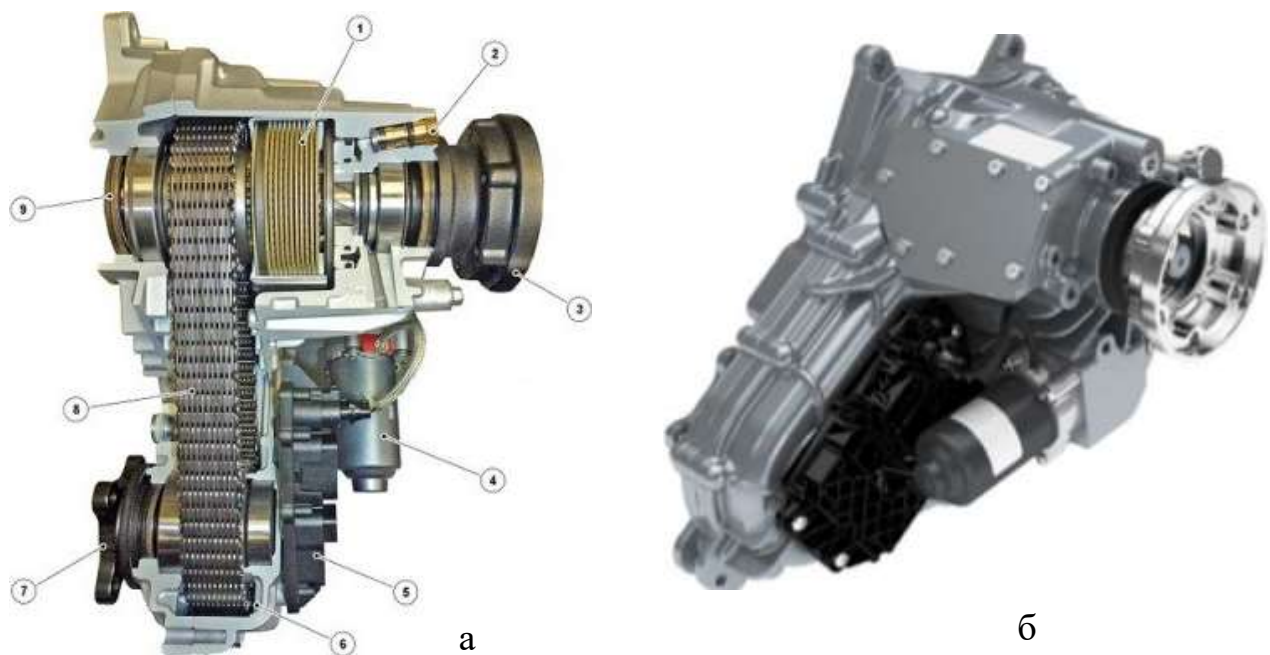


Рис. 2.21. Роздаткова коробка з подачею крутного моменту за запитом:
а – устрій; б – зовнішній вигляд

На рис. 2.21, а позначено: 1 – багатодискова муфта, 2 – клапан вентиляції, 3 – фланець на задній привід, 4 – електрогідравлічний привід, який приводить в дію пакет фрикціонів, 5 – блок керування роздатковою коробкою, 6 – нижній піддон, 7 – фланець на передній кардан, 8 – ланцюг, 9 – вхідний вал (від АКП).

Роздаткова коробка даної конструкції дозволяє перерозподіляти крутний момент в повному діапазоні. Розподіл крутного моменту між осями здійснюється рівномірно при рушанні з місця, після чого змінюється залежно від дорожніх умов. В умовах бездоріжжя при відсутності зчеплення коліс з дорожньою поверхнею крутний момент може повністю передаватися на передній або задній міст.

2.4. Диференціали різного призначення

Основою будь-якого диференціала може бути тільки планетарна передача, яка в силу механіки своєї роботи єдина з усіх передач обертального руху може вирішувати завдання, що стоять перед диференціалом в трансмісії автомобіля. Диференціали класифікуються за рядом ознак:

- місцем установки (міжколісні, міжосьові, центральні, між групою ведучих мостів);

- пропорційністю розподілу вихідних моментів (симетричні, несиметричні);
- способу керування (неблоковані OD, блоковані примусово LD, самоблокувальні LSD, електрично керовані жорсткі ELD і обмеженого тертя ELSD);
- виду редуктора (конічні, циліндричні, кулачкові, черв'ячні).

У деяких випадках замість диференціалів застосовують муфти вільного ходу.

Вільний (неблокований) диференціал OD (Open Differential) являє редуктор, який розділяє крутний момент двигуна на дві осі, кожна з яких здатна обертатися з різною швидкістю. Крутний момент на диференціал подається через головну передачу, яка скомпонована в конструкції коробки передач (для переднього приводу) або ведучого моста заднього приводу (рис. 2.22, а).

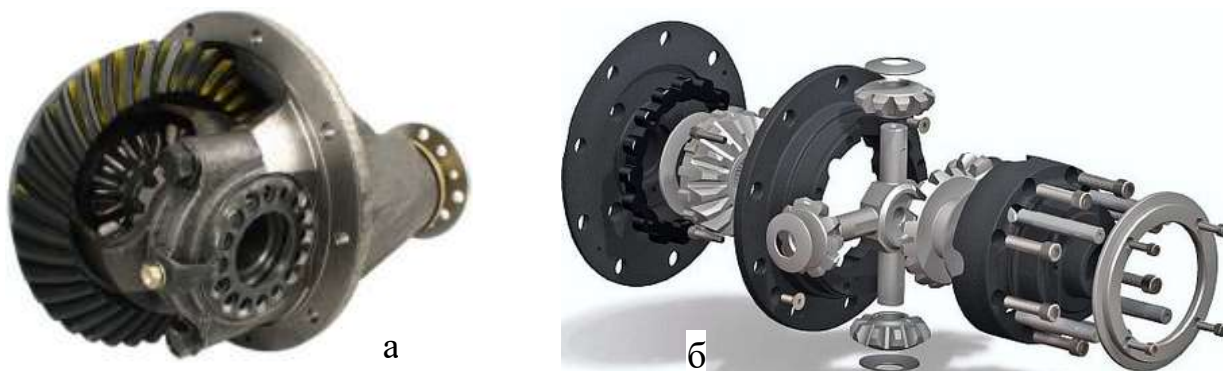


Рис. 2.22. Конструкція диференціалів: а – вільного; б – блокованого

Недоліком вільного диференціала є те, що при втраті зчеплення одного з коліс, крутний момент на протилежному колесі також падає. У гіршому випадку, у застряглого автомобіля одне колесо вільно обертається, в той час, як протилежне з кращим зчепленням, не може передати поверхні достатнього крутного моменту, щоб зрушити автомобіль з місця.

Для підвищення прохідності автомобіля в конструкцію диференціала вводять додаткові елементи, що забезпечують його блокування під час проходження важко прохідних ділянок траси (рис. 2.22, б). Існують різні типи диференціалів з блокуванням:

- самоблокуванні диференціали LD (Locking Differential);
- диференціали підвищеного тертя LSD (Limited-Slip Differential);

- диференціали з примусовим блокуванням з кабіни водія;
- диференціали з електронним керуванням;
- диференціали, що імітують поведінку диференціалів з блокуванням, шляхом пригальмовування колеса, яке буксує.

У заблокованого диференціала, колеса обертаються з рівними швидкостями і крутний момент перерозподіляється на колесо з більш високою тягою. У незаблокованому стані диференціал поводить себе як вільний. Блокування диференціала на поверхні з високим зчепленням ускладнює поворотність автомобіля і приводить до пошкодження трансмісії.

Умовно всі самоблокуванні диференціали (перехід у пряму передачу) можна розділити на дві групи – що спрацьовують від крутного моменту і, які спрацьовують від різниці кутових швидкостей на ведених шестернях. В першу групу потрапляють LD диференціали з гвинтовим, черв'ячним і дисковим блокуванням. У другу, – LSD диференціали з: вісномуфтою, героторним насосом, відцентровим автоматом вмикання, обгінною муфтою. Диференціал, який блокується самостійно, поєднує функції вільного і заблокованого диференціалів. При цьому, автоматичне блокування відбувається в разі прослизання одного з коліс. Блокування досягається за допомогою в'язкісної муфти (рис. 2.23, а) або фрикційної муфти (рис. 2.23, б) або системи героторного типу (рис. 2.23, в).



а



б



в

Рис. 2.23. Самоблокуванні диференціали:

а – з в'язкісною муфтою; б – з фрикційною муфтою; в – з героторним насосом

Механічні диференціали підвищеного тертя характеризуються реактивним керуванням (блокуються за фактом пробуксовки колеса).

У героторного диференціала підвищеного тертя, гідравлічний насос керує зчепленням фрикційної муфти, яка блокує сателітну шестерню на корпус (рис. 2.24).

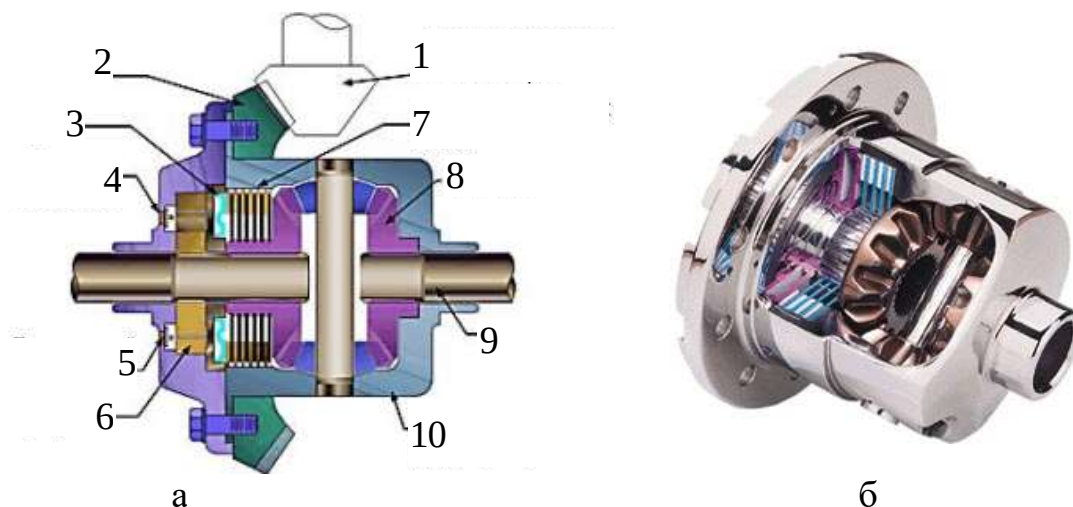


Рис. 2.24. Героторний диференціал: а – устрій; б – зовнішній вигляд

На рис. 2.24, а позначено: 1 – повідна шестерня головної передачі; 2 – ведена шестерня головної передачі; 3 – дисковий поршень; 4 – вхідний отвір; 5 – перепускний клапан; 6 – геродиск; 7 – пакет фрикціонів; 8 – сателіт; 9 – піввісь; 10 – корпус.

У разі міжколісного диференціала, ротор насоса обертається однією піввіссю моста, а корпус – іншою. Тиск, утворюваний маслом, залежить від різниці швидкостей обертання півосей і передається через поршень до фрикційної муфти 7. Сила тертя в муфті зростає, диференціал блокується. Переваги диференціала з героторною муфтою:

- менший час реакції на появу різниці швидкості обертання в порівнянні з віскомуфтою;
- можливість 100 % блокування диференціала, в порівнянні зі звичним диференціалом підвищеного тертя і віскомуфтою;
- використовує для роботи масло пристрою в який він вбудований (роздаткова коробка, міст) на відміну від віскомуфти, для якої потрібні силіконова рідина та високоякісні ущільнення.
- при установці, не треба попередньо навантажувати фрикційну муфту, як це робиться в диференціалі підвищеного тертя.

Система центрального диференціала з двома насосами DPS (Dual Pump System), що застосовується в системах повного приводу

Honda, автоматично підключає другу вісь автомобіля, коли не вистачає однієї. Існує три покоління системи:

- перше (базове) без попереднього натягу (для спрацьовування потрібно провертання повідної осі приблизно на половину оберту);
- друге, з кульковим натягом і швидшим спрацьовуванням;
- третє, з заміною механічних насосів на електричні і можливістю працювати превентивно за командами блоку керування.

У першому поколінні DPS гідравлічна муфта являє собою звичайне багатодискове зчеплення, яке при вмиканні перекидає на задні колеса 44 % потужності від двигуна. При відсутності відносного проковзування між осями, тиск насосів врівноважено, муфта зчеплення розімкнута (рис. 2.25, а).

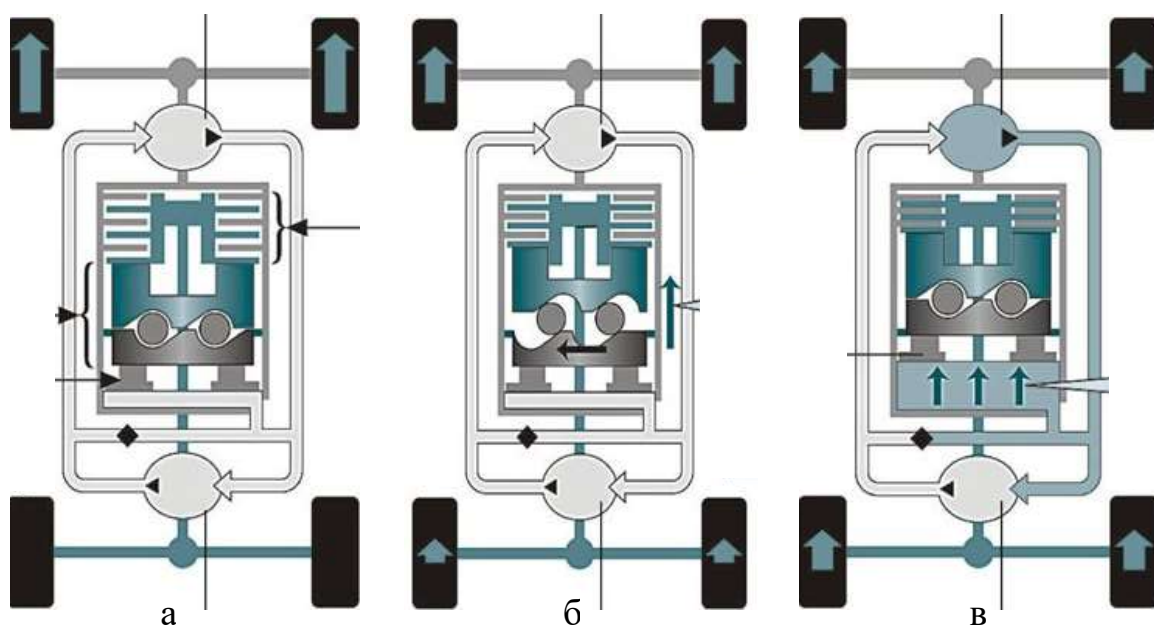


Рис. 2.25. Функціонування героторного диференціала DPS:
а – без прослизання осей; б – при частковому прослизанні; в – при значному прослизанні

У другому поколінні DPS, гідравлічна муфта доповнена кульковим механізмом натягу, що передає на задню вісь до 35 % моменту при прослизанні осей всього на 9° (рис. 2.25, б). Власне гідравліка (повне блокування муфти), вступає в дію при серйозному прослизанні тривалістю більш за 0,1 секунди. При цьому, інтегральний тиск, що створюється обома насосами, блокує фрикційну муфту, розподіляючи крутний момент між осями порівну (рис. 2.25, в).

Диференціал *Torsen* (TORque SENsing – відчуває крутний момент) являє собою механічний диференціал, в якому використовується складний набір черв'ячних шестерень (рис. 2.26).

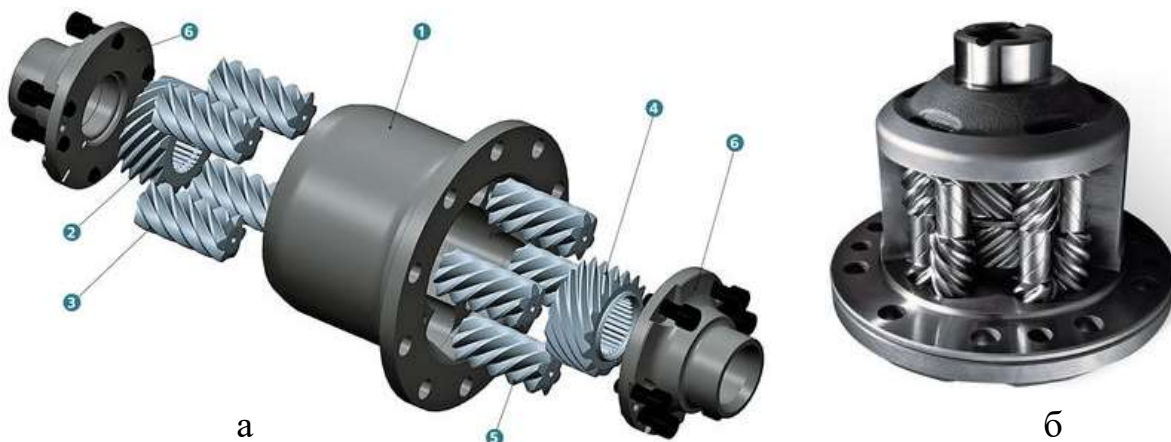


Рис. 2.26. Конструкція диференціала Torsen:
а – устрій; б – зовнішній вигляд

Набір шестерень всередині диференціала складається з ведених черв'ячних коліс 2, 4 і повідних (сателітів) черв'ячних шестерень 3, 5. Особливістю такої конструкції є те, що черв'ячні шестерні можуть приводити в обертання інші шестерні, але в зворотному напрямку обертання блокується. Залежно від значення передакового числа і конструкції диференціала, крутний момент може розподілятися по осях автомобіля в співвідношенні від 2,5:1 до 7:1, а також розподілятися в будь-яких проміжних значеннях. При низьких значеннях вхідного крутного моменту, шестерні диференціала обертаються вільно і його дія нагадує роботу звичайного симетричного диференціала. Коли вхідний крутний момент збільшується, набір черв'ячних шестерень навантажується і в певний момент два вихідних вали блокуються.

Диференціал Torsen має лінійну характеристику, перерозподіл крутного моменту відбувається практично миттєво і він не впливає на процес гальмування. Ці властивості механізму зумовили його широке використання у якості міжколісних і міжосьових диференціалів автомобіля. Основним недоліком є складність його виготовлення і збірки і, як наслідок, висока вартість.

Третє покоління Torsen має планетарну конструкцію і використовується, в основному, у якості міжосьового диференціала на автомобілях, що мають повний привід. Механізм має компактні

габарити завдяки тому, що повідна шестерня і осі сателітів розташовані в конструкції паралельно.

Блокуваний диференціал ARB (Air Locker) з пневматичним приводом відноситься до групи диференціалів, які блокуються примусово. В початковому стані являє звичайний класичний диференціал. При блокуванні такого диференціала півосі моста замикаються між собою за допомогою зчепної муфти (див. рис. 2.16).

На відміну від конструкцій з механічним приводом, система ARB дозволяє вмикати і вимикати блокування без фізичних зусиль під час обертання валів муфти. На відміну від електрично керованих систем блокування, ARB може працювати навіть при повній втраті електроживлення. Блокування диференціала ARB має ряд переваг:

- розподіл крутного моменту на всі чотири колеса незалежно від дорожнього покриття або погодних умов;
- легке і зручне керування;
- висока надійність і міцність;
- простота пристрою з мінімальною кількістю рухомих частин;
- використовуються передні і задні варіанти блокування;
- можливість використання при їзді тільки на передньому чи задньому приводі;
- простота установки і обслуговування;
- встановлюється компресор, який може використовуватися для підкачки шин.

Диференціали з електронним керуванням (примусовим або автоматичним) реалізуються за допомогою пневмоелектричного, гідроелектричного (електроклапани) або електромагнітного (соліноїдного) приводу. За ступенем блокування розрізняють керовані диференціали жорсткого зчеплення ELD і обмеженого тертя ELSD.

Пневматичний привід диференціала ELD складається з робочого циліндра, важеля, вилки і шліцьової муфти на півосі. При подачі повітря в виконавчий механізм, муфта з'єднується шліцями з корпусом диференціала і таким чином створює перешкоджання вільному обертанню півосі. Подача тиску або розрядження в робочу порожнину виконавчого механізму (див. рис. 2.16) здійснюється за допомогою електроклапанів. При цьому, використовуються два варіанти компоновальної схеми – з виносним клапанним блоком і з вбудованими в муфту зчеплення клапанами.

На відміну від пневматики і гідравліки, електромагнітний привід блокування впливає безпосередньо на сателіти. Наприклад, в диференціалі Eaton ELocker, електромагнітна котушка розташована безпосередньо в корпусі диференціала [24] (рис. 2.27).



Рис. 2.27. Диференціал Eaton ELocker з електромагнітним блокуванням:
а – устрій; б – зовнішній вигляд

При подачі напруги електромагнітне зусилля переміщує замковий пристрій, який жорстко з'єднує між собою півосьові шестерні, і повідні колеса починають обертатися з однаковою швидкістю. Особлива конструкція блокіратора допускає активацію механізму не тільки в статичному положенні, але і при русі.

Електромагнітне блокування диференціала обмеженого тертя з фрикційною муфтою реалізується двома способами – з обмоткою електромагніту, яка обертається (жорстко закріплена на корпусі диференціала) і нерухомою обмоткою (на підшипнику). У першому випадку, напруга на обмотку подається через ковзаючі контакти, у другому – по звичайним проводам. Найважливішими достоїнствами таких систем є:

- зручність автоматичного і автоматизованого керування;
- швидкість і точність вмикання і вимикання;
- можливість регулювання ступеню блокування;
- відносна простота механічної частини конструкції;
- простота інтеграції в готову систему.

Сила, яка потрібна для блокування диференціала такого типу, не значна, тому що тиск здійснюється послідовно на всі поверхні тертя.

Одним з представників диференціалів з електромагнітним блокуванням є пристрій Auburn Gear ECTED Locker. Абревіатура ECTED (Electronically Controlled Traction Enhancing Differentials) означає – диференціал підвищеного тертя з електронним керуванням (рис. 2.28).

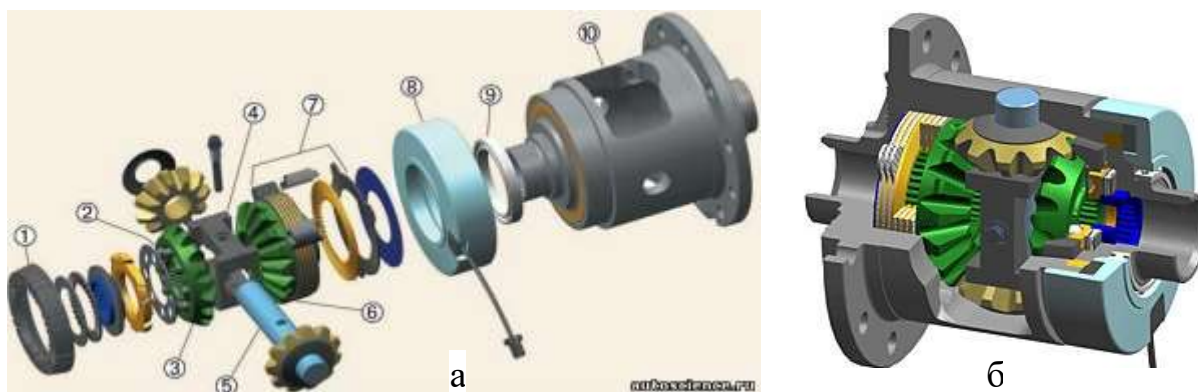


Рис. 2.28. Диференціал ECTED locker з електромагнітним керуванням ступеню блокування: а – устрій; б – зовнішній вигляд

У вимкненому стані система являє звичайний симетричний диференціал. Пакет фрикційних дисків 7, розташований на півосьовій шестірні 6 змінює свій стан. Обмотка електромагніта 8 встановлена на корпусі диференціала 10 через підшипник 9. При включенні обмотки 8, статорний індуктор створює магнітне поле, за допомогою якого, якірне кільце 1 вдавлюється всередину корпусу диференціала 10. Зусилля натискання через кульки натискного підшипника 2 передається на шестерні півосі 3. Осьове переміщення шестерні півосі передає зусилля на центральний блок 4, який має подовжений отвір для осі сателітів 5. Центральний блок 4 передає зусилля на протилежну шестерню півосі 6, яка стискає пакет фрикційних дисків 7. Наслідком збільшення тертя між фрикційними дисками є часткове або повне блокування диференціала. Блокування можна вмикати на ходу при будь-якій швидкості руху.

Більш складними є гідроелектричні пристрої. В диференціалі EGerodisk механізм блокування складається з масляного насоса, гідроциліндра і комплекту фрикційних дисків, встановлених між чашкою класичного диференціала і шестернею півосі [25]. Корпус гідроциліндра кріпиться до чашки диференціала, а поршень до півосі (рис. 2.29).



Рис. 2.30. Гідроелектричний диференціал EGerodisk з регульованим ступенем блокування: а – устрій; б – зовнішній вигляд

При активації системи, гідравлічне зусилля стискає фрикційний пакет, блокуючи шестерню півосі з чашкою диференціала. За рахунок отриманого моменту тертя, диференціал плавно перерозподіляє крутний момент на колесо, яке відстає. Залежно від дорожніх умов ступінь блокування можна змінювати в широких межах. Так, високий коефіцієнт блокування, характерний при старті з місця, може знижуватися в міру збільшення швидкості автомобіля.

У електрогідравлічній системі повного приводу (третє покоління DPS) ЕБК контролює електричний мотор насоса, який створює в гідравлічній системі тиск. Наявність електромотора дозволяє замикає муфту при відсутності обертання карданного валу (рушання відразу на всіх 4 колесах) і дистанційно керувати повним приводом.

Самоблокуваний диференціал з електронним керуванням ECLSD (Electronically Controlled Limited-slip Differential) дозволяє підвищити тягу в повороті за рахунок налаштування ступеню блокування диференціала за допомогою електромагнітної муфти, яка керує віскомуфтою. Якщо, комп'ютер визначає, що в повороті у автомобіля надлишкова поворотність, він сильніше блокує диференціал, щоб стабілізувати автомобіль.

Під активними розуміються диференціали, в яких функціональний перерозподіл крутного моменту між вихідними валами проводиться в автоматичному режимі за допомогою електрично керованих пристроїв (муфт, редукторів) з метою оптимізації динаміки автомобіля при поворотах. За місцем установки розрізняють передні, задні і центральні активні диференціали [26].

У передньому міжколісному активному диференціалі AFD (Active Front Differential), який застосовується в трансмісії S-AWC, використовується фрикційна ELSD муфта (рис. 2.30).

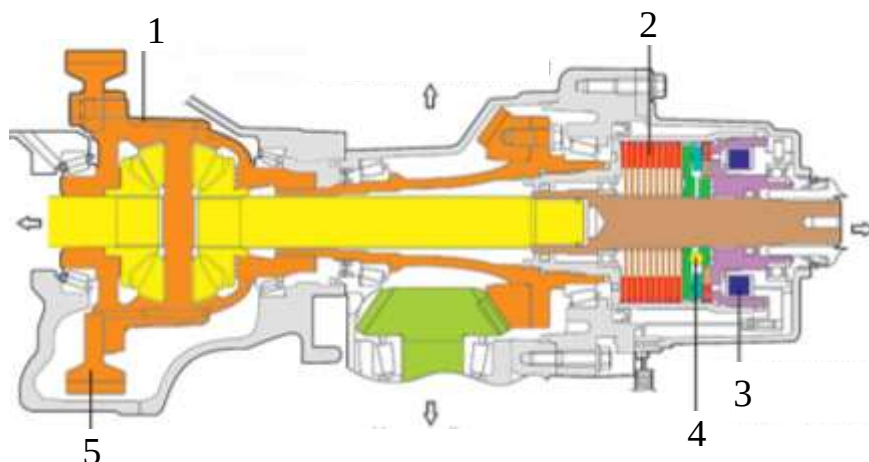


Рис. 2.30. Устрій переднього активного диференціала AFD

На рис. 2.30 позначено: 1 – передній диференціал; 2 – фрикціони блокування переднього диференціала; 3 – соленоїд; 4 – кульковий притискний механізм; 5 – ведена шестерня передньої головної передачі.

Щоб стиснути фрикціони, блок керування повним приводом подає струм на обмотку електромагніту і при наявності різниці в швидкостях обертання передніх коліс два диска кулькового натискного механізму обертаються відносно один до одного, створюючи осьове зусилля стискання на фрикціони. Ступінь блокування диференціала постійно змінюється електронікою, але жорсткий зв'язок між напівосями неможливий.

Активний задній диференціал це диференціал з додатковими редукторами, які включаються за командами електроніки в крутому повороті і збільшують тягу на зовнішньому колесі, тим самим довертає автомобіль і збільшуючи швидкість проходження повороту. Керуюча активним диференціалом електроніка збирає інформацію з датчиків швидкості автомобіля, швидкості кожного з коліс, увімкненої передачі, кута повороту керма, поперечних прискорень.

В активному задньому диференціалі TVD (Torque-Vectoring Differential) типу використовуються додаткові редуктори, які підключаються по команді електроніки за допомогою гідросистеми з електронасосом (рис. 2.31).

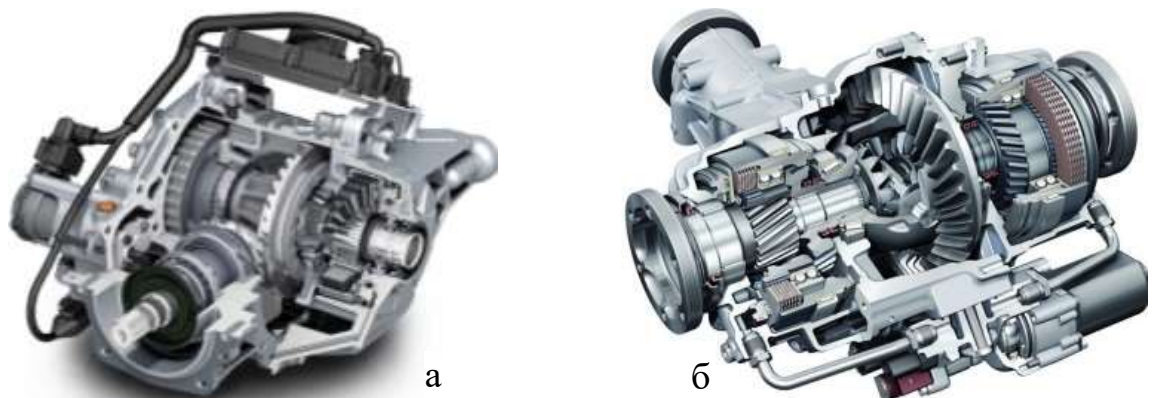


Рис. 2.31. Система TVD в задньому диференціалі:
а – компанії GKN; б – автомобіля Audi Quattro RS 5 Sportback

З активним TVD диференціалом автомобіль може проходити повороти на великих швидкостях. Система TVD підключає обрану піввісь через одну з фрикційних муфт, які підвищують або зменшують передачу та швидкість обертання колеса обраної півосі. Гідропривід фрикційних муфт складається з: реверсного електромоторного приводу масляного насоса; електроклапанів подачі тиску на колеса; датчиків тиску для контролю спрацьовування приводу. Недоліками системи активного заднього диференціала є його громіздкість, підвищена складність і ціна, додаткові витрати палива на компенсацію втрат в механізмах.

На автомобілях Mitsubishi Evo IV використовується *активний задній диференціал* AYC (Active Yaw Control), який дозволяє створювати момент навколо вертикальної осі автомобіля, за рахунок різниці тяги на задніх колесах. До кожної півосі за допомогою фрикційних муфт 1, 2 можуть підключатися редуктори (передачі, що підвищує 3 і понижує 4) таким чином, що зовнішнє по відношенню до повороту колесо обертається з більшою швидкістю (рис. 2.32).

Вмиканням передач керує електроніка за допомогою мокрих електромагнітних зчеплень. Значення моменту, який перерозподіляється між ведучими колесами, регулюється зміною ступеня прослизання зчеплення, забезпечуючи стійкість автомобіля в поворотах.

При русі по прямій, обидва зчеплення 1, 2 відключені і передача моменту на півосі рівномірна (рис. 2.32, б). У лівому повороті задіюється праве зчеплення 2. При цьому, підвищуюча передача, через диференціал підключається до правої півосі, примусово розкручуючи праве зовнішнє колесо (рис. 2.32, в).

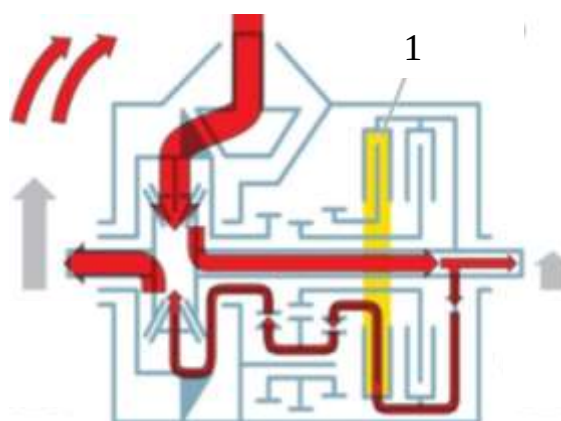
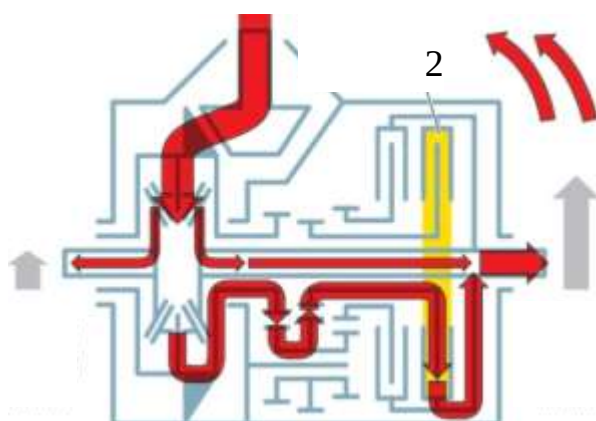
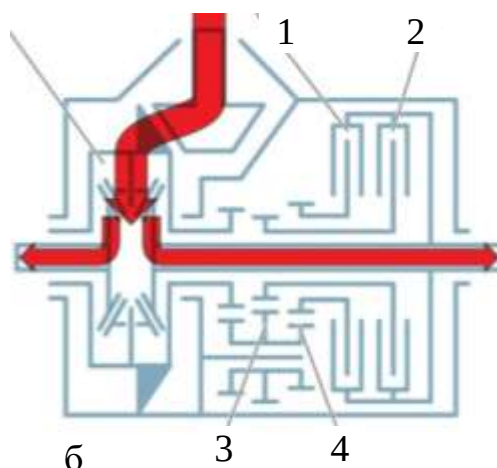
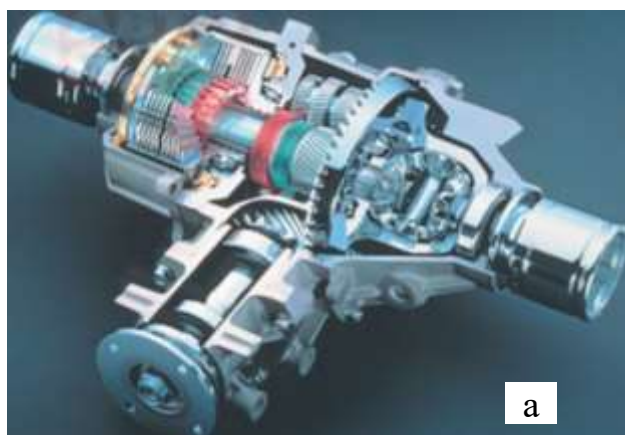


Рис. 2.32. Устрій і функціонування заднього диференціала АУС:
а – конструкція; б – передача крутного моменту при русі по прямій;
в – у лівому повороті; г – у правому повороті

Аналогічний процес відбувається в правому повороті автомобіля (рис. 2.32, г). Активність диференціала проявляється у тому, що один із сателітів відкритого диференціала може і підгальмовуватися і примусово прискорюватися, змушуючи пригальмовувати інший сателіт пов'язаний з іншим колесом.

Активний центральний диференціал ACD (Active Central Differential) використовується в приводі AWD замість вісномуфти або муфти Haldex. Диференціал ACD являє фрикційну багатодискову муфту обмеженого тертя з електронним керуванням, яка встановлена між карданним валом і веденою шестернею міжколісного диференціала. У одних виробників керування фрикційною муфтою проводиться за схемою ELSD з електромагнітним керуючим фрикціоном (див. рис. 2.17), у інших, – за схемою Haldex з електрогідравлічним приводом (див. рис. 2.18).

2.5. Устрій і функціонування систем повного приводу

Розглянемо структури декількох систем з автоматичним підключенням повного приводу AWD, що відрізняються за схемою будови (конфігурації): ADD (Toyota), DCCD (Subaru), SH-AWD (Honda), AWC (Mitsubishi) S-AWC (Outlander).

Електропневматична система керування повним приводом ADD (Automatic Differential Disconnect) передбачає розподіл крутного моменту на всі чотири колеса [27]. Система використовує активну роздаткову коробку без міжосьового диференціала. Контролер ADD відстежує поведінку автомобіля (дії водія, дорожню ситуацію) і оптимізує розподіл крутного моменту, виходячи з даних параметрів. Роздаткова коробка має знижувальну передачу у вигляді планетарного редуктора, при включенні якої, жорстко підключається передній міст. Крім того, при повному відключенні 4WD, пневмопривід роз'єднує одну або обидві передніх півосі (рис. 2.33).

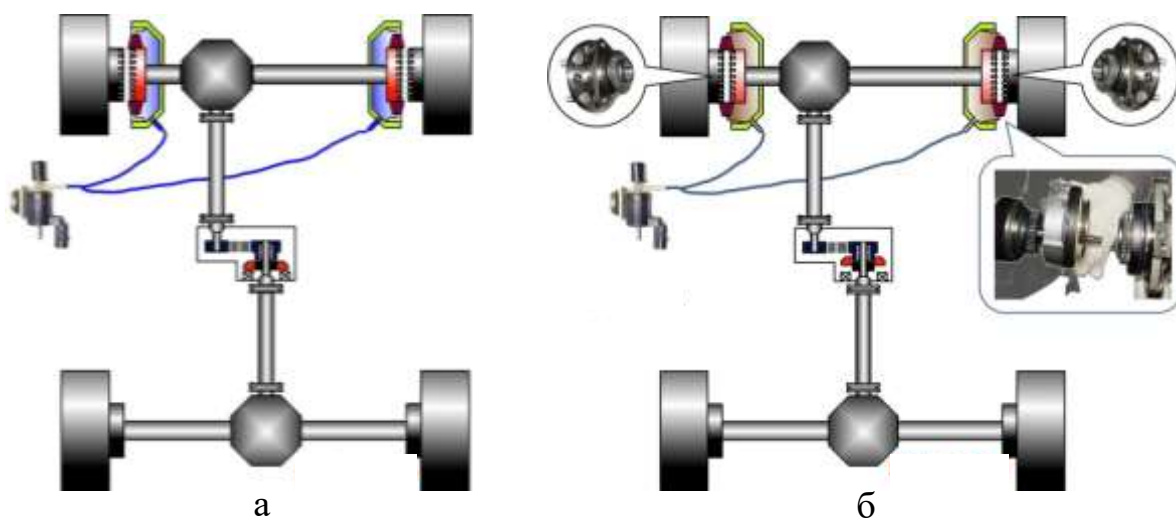


Рис. 2.33. Схема функціонування системи ADD: а – при увімкненому вакуумному приводі; б – при вимкненому вакуумному приводі

Головні переваги системи ADD:

- відсутність маточинних муфт (надійність);
- можливість підключення переднього приводу на швидкості;
- постійне обертання повідних шестерень півосей в диференціалі, що забезпечує постійне змащування останнього.

В системі повного приводу DCCD (Driver Controlled Center Differential) автомобілів Subaru використовується багаторежимний

міжосьовий диференціал здвоєного типу [28]. Перша механічна частина диференціала являє самоблокувальну фрикційну муфту обмеженого тертя (блокування від 0 до 30 %), друга – електромагнітну фрикційну муфту, яка керується ЕБК (блокування від 30 до 100 %). Устрій комбінованого диференціала показано на рис. 2.34.

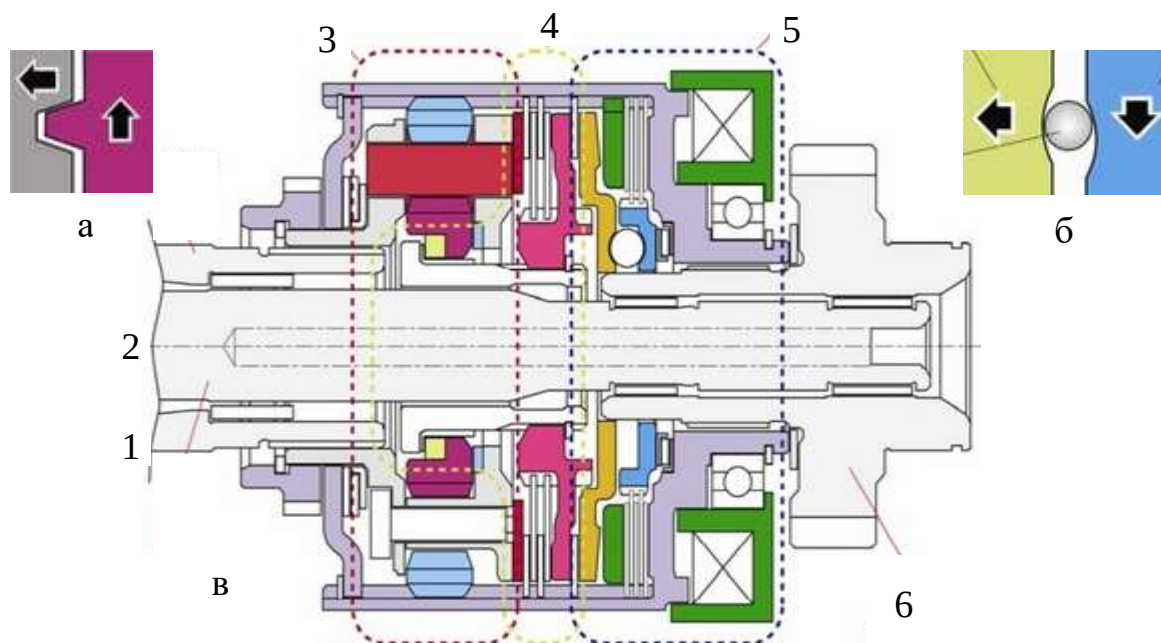


Рис. 2.34. Устрій міжосьового диференціала системи DCCD:
а – притискний механізм LSD муфти; б – притискний механізм ELSD муфти;
в – схема компоновки елементів

На рис. 2.34 позначено позиції: 1 – ведений вал; 2 – вал приводу передніх коліс; 3 – механічний диференціал; 4 – механічна самоблокувальна LSD муфта; 5 – керована ELSD муфта; 6 – повідна шестерня приводу задніх коліс.

Електроніка слідкує за умовами руху автомобіля і забезпечує розподіл крутного моменту між осями за допомогою керованої муфти, а механічна частина диференціала, швидко реагує на зовнішні динамічні впливи. Обидві частини диференціала об'єднані планетарної передачею. При цьому, водій може змістити розподіл моменту в сторону будь-якого з міжосьових диференціалів за допомогою електронної системи керування.

Механічна самоблокувальна муфта забезпечує блокування до того, як в роботу вступить ELSD муфта. При виникненні різниці частоти обертання валів передніх і задніх коліс, кулачки муфти почина-

ють відсувати вліво вал диференціала, включаючи, таким чином, головну муфту.

Зміна ступеню блокування міжосьового диференціала, в свою чергу, змінює співвідношення розподілу крутного моменту між передньою і задньою осями автомобіля. При заблокованому диференціалі крутний момент розподіляється порівну, а при розблокованому, співвідношення становить 41:59. Керування зчепленням електромагнітної муфти здійснюється в автоматичному або напівавтоматичному режимах.

Диференціал системи DCCD розташований на виході коробки передач. До складу системи керування DCCD входять оригінальні компоненти (ЕБК, перемикач режимів, індикатори та реле включення, датчик температури масла в задньому редукторі) і використовується інформація по CAN-шині від датчиків суміжних систем керування (модулів): двигуном; коробкою передач; контролем динамічної стабілізації; підсилювачем керма; системою Start-Stop.

Функціонування системи DCCD підпорядковується певному алгоритму при розгоні і русі автомобіля по прямій та при маневруванні. У першому випадку, крутний момент передається на задню вісь таким чином, щоб досягти максимального прискорення. При входженні автомобіля в крутий поворот, система знижує крутний момент, що передається на задні колеса, щоб уникнути жорсткої характеристики кута повороту. Якщо, при цьому, система динамічної стійкості вказує, що спрацювала система ABS, то алгоритм контролює момент, який передається на задні колеса, мінімізуючи вплив ABS.

У разі, якщо температура масла в задньому диференціалі перевищує допустиме значення чи спостерігається значна різниця в зміні швидкості обертання передніх і задніх коліс, спрацює захисний алгоритм відключення заднього приводу.

Композиція *повного приводу* SH-AWD (Super Handling All-Wheel Drive System) виробництва Honda оснащена електромагнітними фрикційними ELSD муфтами, розташованими на кожній півосі задніх коліс [29]. За допомогою цих муфт, момент розподіляється між осями (30 %...70 %) і півосями задніх коліс (0...100 %) від загального моменту, що подається на задню вісь. Це дозволяє позбутися від недостатньої поворотності. Обидва зчеплення, керовані муфтами, здатними працювати незалежно один від одного, під загальним керуванням комп'ютера. Модулі зчеплення доповнені власними

планетарними передачами. Ефективність впливу муфти визначається середнім значенням струму через її котушку (ШІМ-керування). Причому, чим більше виявляється переданий тиск, тим з меншою швидкістю обертаються сонячні шестерні в планетарній передачі, яка і здійснює подачу моменту на відповідне заднє колесо.

Привід системи здійснюється від переднього моста в блоці з коробкою передач. Таким чином, вузол трансмісії містить три комплекти планетарних зубчастих передач з муфтами. Крутний момент передається через перший комплект (пристрій прискорення А) і потім на гепоїдну зубчасту передачу, яка обертає вихідні вали під кутом 90° через електромагнітні зчеплення Б задніх коліс (рис. 2.35).

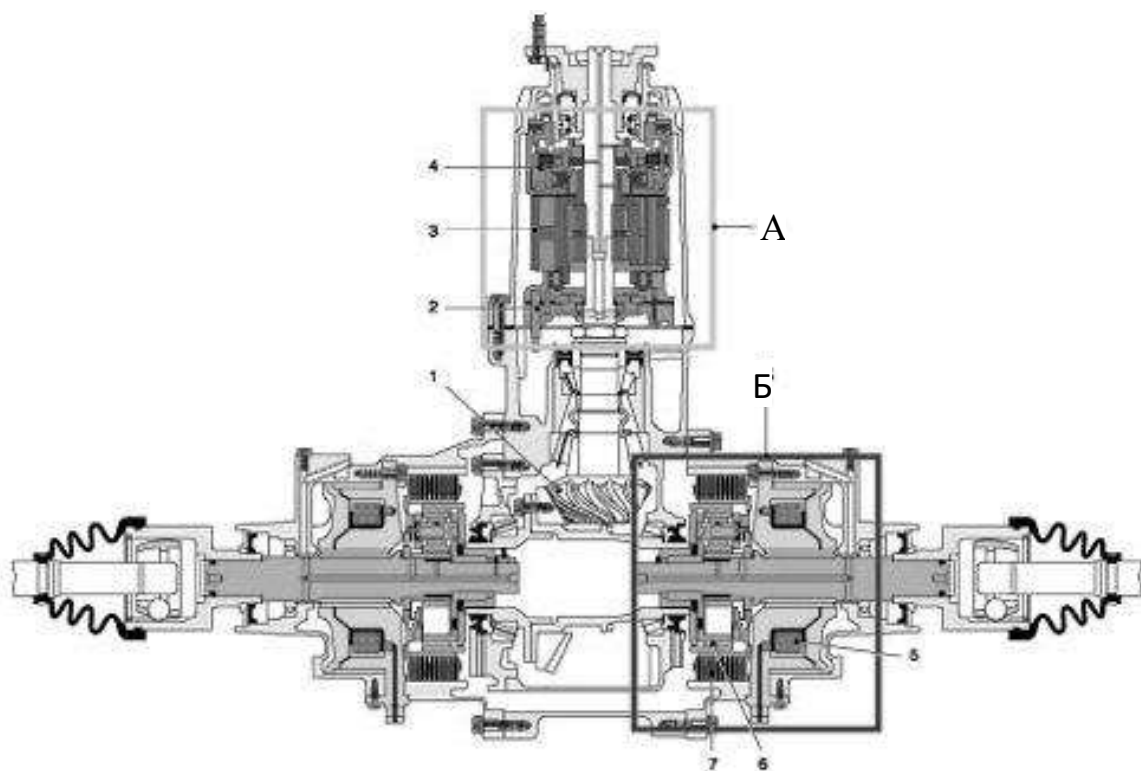


Рис. 2.35. Задний дифференциал SH-AWD:

- 1 – гіпоїдна передача; 2 – гідравлічний привід; 3 – планетарна передача;
4 – зчеплення; 5 – соленоїд; 6 – планетарна передача; 7 – зчеплення

Під час руху по прямій, шестерні планетарної передачі блоку А обертаються синхронно з карданним валом, швидкість передніх і задніх коліс однакова. При вході в поворот гідравлічний привід (генераторна муфта) прискорювача за допомогою власного модуля зчеплення включає планетарну передачу в роботу. При цьому, заднє колесо з потрібного боку підкручується до оптимальної швидкості. Система SH-AWD функціонує на всіх передачах, включаючи задню.

Електронний блок керування SH-AWD кореспондує з ЕБК двигуном і системою стабілізації VSA. Блок керування двигуном повідомляє дані про оберти двигуна, тиск у впускному колекторі і передаткове відношення в трансмісії. Система VSA повідомляє дані від датчиків: обертання коліс, кута повороту керма, прискорення і відхилення від курсу.

В системі AWC (All Wheel Control) задні колеса для повного приводу підключаються через фрикційну ELSD муфту, розташовану в блоці заднього моста (рис. 2.36).

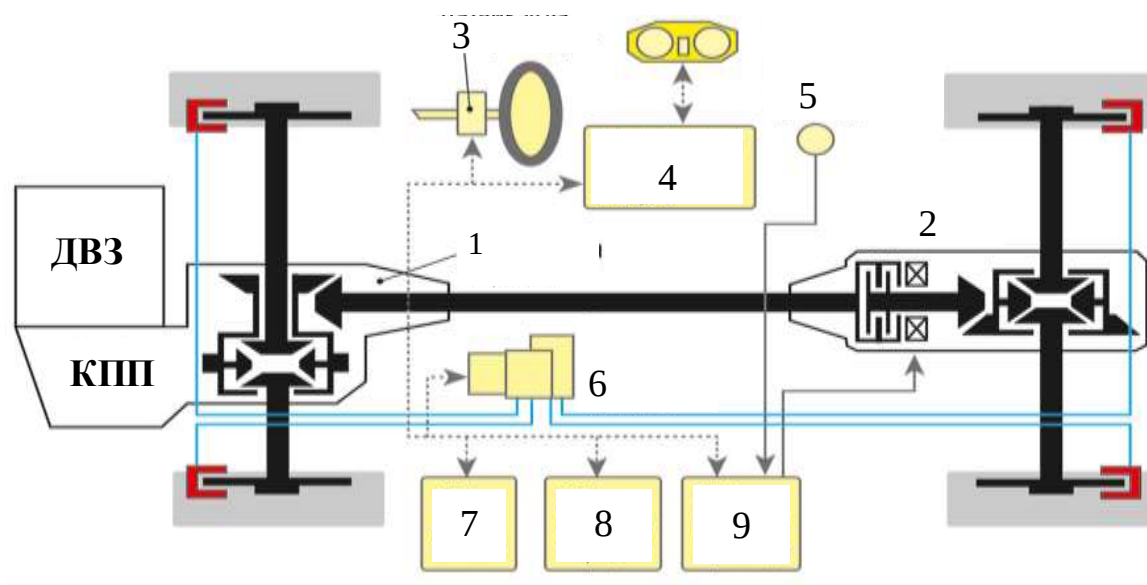


Рис. 2.36. Конфігурація системи AWC:

1 – роздаткова коробка; 2 – міжосьова муфта; 3 – датчик кута повороту керма;
4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP; 7 – ЕБК двигуна;
8 – ЕБК коробки передач; 9 – ЕБК повного приводу

У режимі 2WD задіюється передній привід (за винятком окремих дорожніх ситуацій). В режимі 4WD Auto електроніка визначає, скільки моменту передавати на задню вісь (до 40%) і чи варто блокувати центральну муфту. В режимі 4WD Lock муфта однозначно блокується, розподіляючи тягу порівну між передніми і задніми колесами. У всіх режимах електроніка змінює ступінь зчеплення муфти, проте конструктивно не може замкнути її повністю (завжди присутнє прослизання і тепловиділення). Міжколісних блокувань в даній схемі немає, їх імітує система курсової стійкості ESP, яка пригальмовує колеса, що буксують.

Електронний блок системи AWC кореспондує через CAN-шину з ЕБК суміжних систем і органів керування: ДВЗ (положення дросе-

ля, швидкість обертання); ESP (кутові швидкості коліс, сигнали обмеження крутного моменту); перемикача режиму; блоку панелі приладів. Система оцінює дорожні умови і на основі сигналів від всіх ЕБК розраховує оптимальну силу стиснення муфти (силу струму) і направляє необхідну частку крутного моменту на задні колеса.

Super-AWC це модифікований привід AWC, придатний керувати не тільки розподілом крутного моменту між осями, але і між колесами осі. Система S-AWC має три конфігурації: Outlander; Lancer Evolution; Outlander PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) [30].

У конфігурації *Outlander* базова система AWC доповнена переднім активним диференціалом AFD з регулюванням розподілу крутного моменту між колесами передньої осі для керування вектором тяги. В S-AWC також інтегровані системи рульового керування EPS і курсової стабілізації ESP (рис. 2.37).

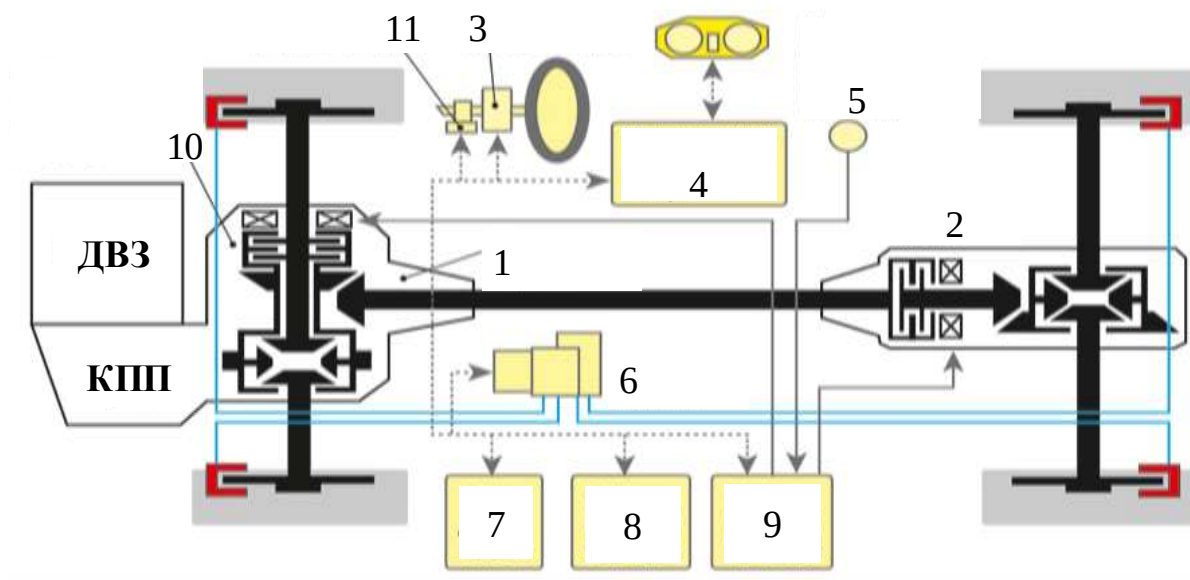


Рис. 2.37. Конфігурація Outlander системи S-AWC:

1 – роздаткова коробка; 2 – міжосьова муфта; 3 – датчик кута повороту керма; 4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP; 7 – ЕБК двигуна; 8 – ЕБК коробки передач; 9 – ЕБК повного приводу; 10 – муфта блокування переднього диференціала; 11 – електромотор підсилювача керма

Щоб стиснути фрикціони AFD, блок керування повним приводом подає струм на обмотку електромагніту і при наявності різниці в швидкостях обертання передніх коліс впливає на кульковий натискний механізм, створюючи осьове зусилля для фрикціона (як в AWC). Ступінь блокування диференціала постійно змінюється

електронікою, але жорсткий зв'язок між півосями неможливий. Трансмсія S-AWC має чотири робочих режима:

- AWC ECO – подає момент тільки на передню вісь і підключає задню вісь тільки під час пробуксовки;
- NORMAL – оптимально розподіляє момент по всіх колесах відповідно до дорожніх умов;
- SNOW – призначений для пересування по снігу, льоду та іншим слизьким покриттям;
- LOCK – замикає всі диференціали, забезпечуючи найбільший позашляховий потенціал.

У конфігурації *Lancer Evolution* центральний диференціал ACD блокується вбудованою багатодисковою муфтою, керованою електронікою. Передній міжколісний диференціал з механічним блокуванням, а задній – активний АYC, здатний примусово прискорювати обертання одного з коліс (змінювати вектор тяги). Склад системи показаний на рис. 2.38.

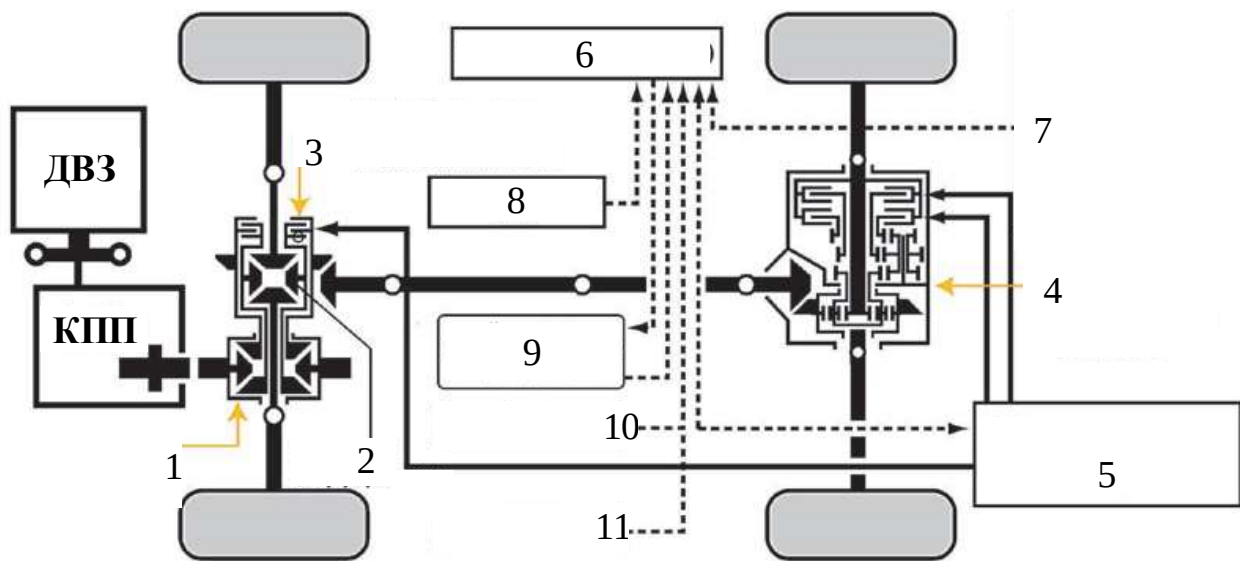


Рис. 2.38. Конфігурація *Lancer Evolution* системи S-AWC:

- 1 – міжосьовий диференціал; 2 – передній диференціал; 3 – муфта блокування ACD; 4 – задній диференціал АYC; 5 – гідронасос з гідроаккумулятором;
6 – блок керування ACD і АYC; 7 – датчики суміжних систем;
8 – блок керування ABS; 9 – селектор режимів; 10 – датчик вмикання ручного гальма; 11 – сигналізатор стоп-сигнала

Датчики суміжних систем 7 надають інформацію про: кутове положення керма; положення дросельної заслінки; кутові швидкості коліс; продольного та поперечного прискорення автомобіля (ESP).

У конфігурації гібрида *Outlander PHEV*, ДВЗ підключається через електромагнітну ELSD муфту до переднього вільного диференціалу паралельно з електроприводом коліс (рис. 2.39).

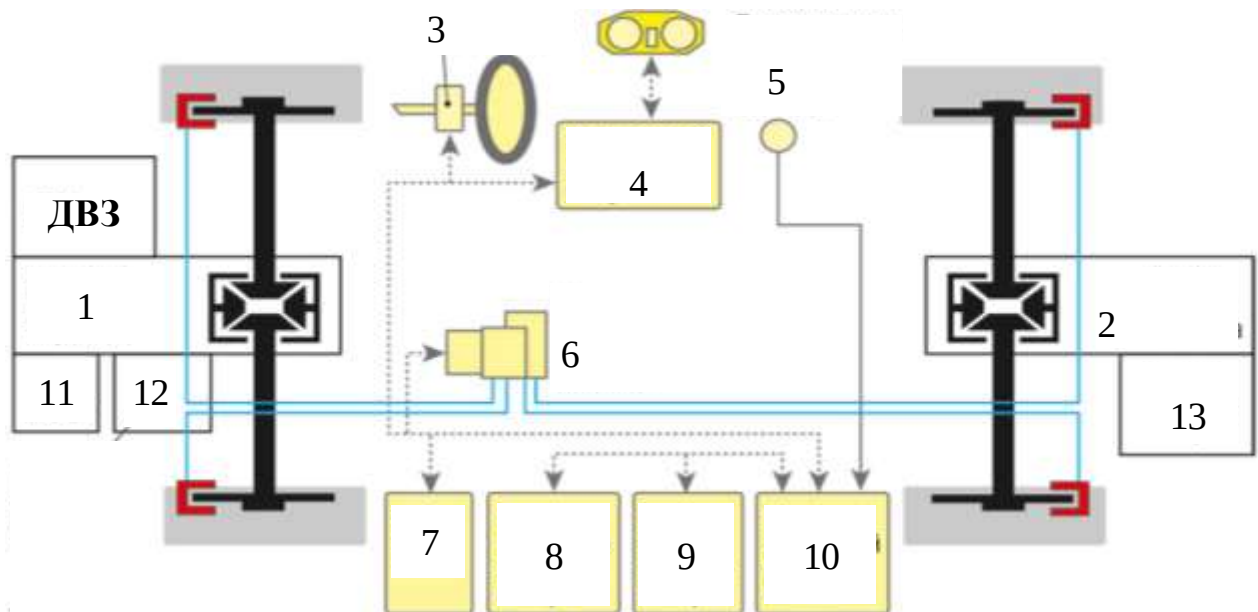


Рис. 2.39. Конфігурація *Outlander PHEV* системи S-AWC:

1 – передня головна передача; 2 – задня головна передача; 3 – датчик кута повороту керма; 4 – центральний модуль; 5 – селектор режиму; 6 – модуль ESP; 7 – ЕБК двигуна; 8 – ЕБК переднього електромотора; 9 – ЕБК заднього електромотора; 10 – ЕБК гібридної трансмісії; 11 – генератор; 12 – передній електромотор; 13 – задній електромотор;

Задні колеса приводяться від автономного електродвигуна через вільний диференціал. Вектор тяги керується шляхом пригальмовування коліс задньої осі.

Контрольні запитання

1. Наведіть лінгвістичну модель системи керування зчепленням.
2. Наведіть лінгвістичну модель системи керування КПП.
3. Наведіть лінгвістичну модель системи керування приводом.
4. Назвіть варіанти структурних складових системи трансмісії.
5. Назвіть різновиди систем повного приводу автомобіля.
6. За якими ознаками класифікують механізми зчеплення?
7. Назвіть компоненти електричних систем керування зчепленням.
8. Поясніть особливості устрою роботизованих КПП.
9. Поясніть особливості устрою автоматичних КПП.
10. Які виконавчі пристрої використовуються в актуаторах РКП?

11. Поясніть устрій та функціонування РКП з двома зчепленнями.
12. У чому полягають опції «Overdrive» і «Cickdown» АКПП?
13. Які типи клапанів застосовуються в електрогідравлічній АКПП?
14. Які датчики задіяні в керуванні АКПП?
15. Поясніть особливості устрою різновидів варіаторних КПП.
16. Яким чином реалізуються керуючі впливи в варіаторних КПП?
17. За якими ознаками класифікують передаточні муфти приводу?
18. Поясніть устрій і функціонування в'язкісних муфт обмеженого тертя.
19. Поясніть устрій і функціонування фрикційних муфт обмеженого тертя з електромагнітним керуванням.
20. Поясніть устрій і функціонування фрикційних муфт гермічного типу.
21. Поясніть устрій і функціонування зчіпних муфт з електричним керуванням.
22. Поясніть устрій і функціонування електрогідравлічних муфт Haldex.
23. Поясніть устрій і функціонування роздаткових коробок типу x-Drive.
24. Назвіть різновиди диференціалів системи приводу автомобіля.
25. Назвіть різновиди диференціалів системи приводу з електричним керуванням.
26. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електромагнітним блокуванням.
27. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електромагнітним керуванням ступеню блокування.
28. Поясніть устрій і функціонування диференціалів з електрогідравлічним керуванням ступеню блокування.
29. Визначте поняття та призначення активних диференціалів.
30. Поясніть устрій і функціонування активного переднього диференціалу типу AFD.
31. Поясніть способи реалізації керуючих впливів в активних задніх диференціалах типу TVD і AYC.
32. Поясніть устрій і функціонування активного центрального диференціалу типу ACD.
33. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу ADD.
34. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу DCCD.
35. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу SH-AWD.
36. Поясніть устрій і функціонування системи приводу типу AWC.
37. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Outlander.
38. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Lancer Evolution.
39. Поясніть структуру і функціонування системи приводу типу Super-AWC у конфігурації Outlander PHEV.

Тема 3. Застосування альтернативних систем

приводів

3.1. Класифікація концептуальних автомобілів

Аналіз перспективних напрямків розвитку екологічно чистих транспортних засобів показав, що відомі автомобільні виробники проводять дослідження та розробляють декілька варіантів автомобілів з альтернативними джерелами енергії [31]. При цьому, можна відокремити три класифікаційні ознаки, що характеризують джерело енергії руху та способу її перетворення (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Класифікаційні ознаки концептуальних автомобілів

Перший напрямок екологічного та паливно-економічного удосконалення автомобіля полягає у конвертації конструкції базових ДВЗ під альтернативні види палива. Зазначимо, що здатність концентрації енергії рідким паливом набагато вища за показники АКБ. З іншого боку для забезпечення тягового зусилля розглядаються нові джерела енергії, використання яких не вимагає застосування ДВЗ як перетворювача хімічної енергії палива в теплову, а потім в механічну. Прикладом таких концептів є новітні розробки АТЗ на паливних елементах, кріогенні на рідкому азоті, з використанням пневмодви-

гунів, електромобілі на сонячних батареях, електромобілі з різними типами АКБ і накопичувачів енергії.

Пріоритетним напрямком розвитку якісної структури АТЗ є використання електричної тяги, завдяки ряду переваг електродвигунів перед ДВЗ в транспортних режимах:

- високий коефіцієнт корисної дії (до 95 %);
- висока питома потужність і низька ціна;
- простота використання і керування;
- екологічність при експлуатації;
- надійність і довговічність;
- повітряне охолодження;
- мінімальна вага трансмісії (не вимагає КПП);
- можливість рекуперації енергії в режимі генератора;
- максимальні показники крутного моменту M і потужності N в широкому діапазоні швидкостей обертання (рис. 3.2).

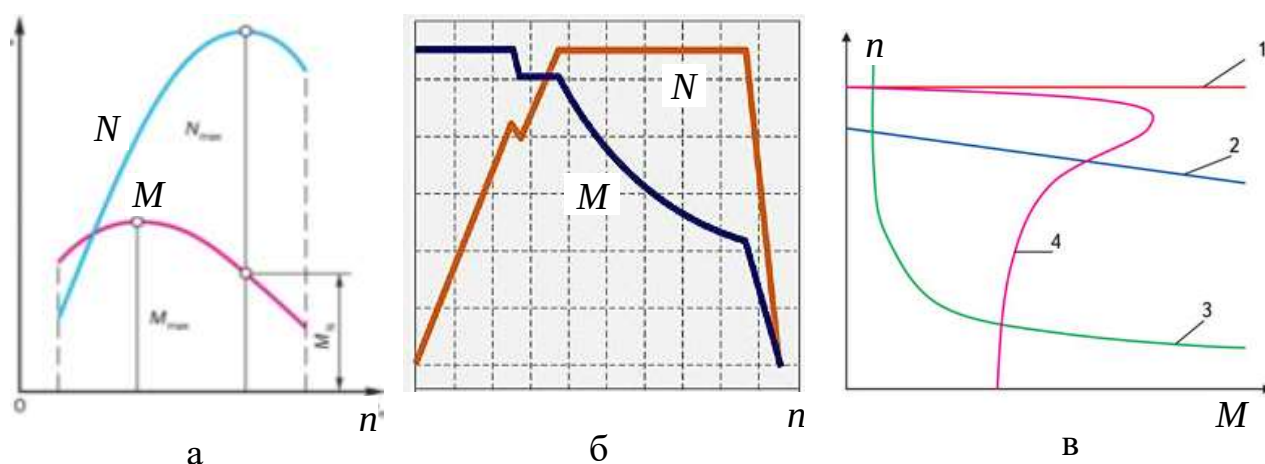


Рис. 3.2. **Характеристики двигунів:** а – швидкісні карбюраторного ДВЗ; б – швидкісні інжекторного ДВЗ; в – механічні електродвигунів

Вид механічної характеристики електродвигуна (рис. 3.2, в) визначається принципом його будови: 1 – синхронного; 2 – постійного струму (ДПС) з паралельним збудженням; 3 – ДПС з послідовним збудженням; 4 – асинхронного.

Основним стримуючим фактором у розвитку АТЗ з автономною електричною тягою є низька енергоємність тягових АКБ. Так, наприклад, кращі літій-іонні АКБ мають питому енергію до 0,4 МДж/кг, в той час, як для бензину цей показник становить близько 33 МДж/кг. Таким чином, до недоліків застосування електричного привода слід віднести: високу вартість і обмежений термін служби

(до 7 років) тягових АКБ (ТАБ), необхідність тривалої зарядки, обмежений ресурс автономного переміщення транспортного засобу. При цьому, експлуатаційні витрати на утримання електромобіля нижче, ніж автомобіля з ДВЗ [32].

Компромісним варіантом є комбінація зазначених підходів з метою побудування гібридних автомобілів, атрибутами композиції силових установок яких є: основний двигун, допоміжний двигун, накопичувач енергії, система рекуперації. Керування гібридною силовою установкою (ГСУ) здійснює система розподілу потужності.

Сумарна потужність ДВЗ й електричного двигуна, як правило, трохи перевищує потужність двигуна автомобіля, на базі якого створюється транспортний засіб з ГСУ. Потужність ДВЗ складає 53...87 % від потужності всієї силової установки.

Слід додати, що ГСУ можуть будуватися за різними схемами передачі потужності на колеса автомобіля (послідовною, паралельною, комбінованою), кожна з яких має характерні переваги і недоліки. При цьому, як критерії оцінки ефективності використання тієї або іншої схеми ГСУ для обраного типу привода автомобіля, є показники: екологічності, паливної економічності, ККД, їзових якостей, вартості реалізації. Ефективність застосування обраної схеми ГСУ значною мірою залежить від якості алгоритмів оптимізації режимів роботи її силових агрегатів (системи розподілу потужності).

Зазначимо, що застосування в ГСУ поряд з ДВЗ електропривода не можна вважати єдиним доцільним варіантом. При дотриманні певних вимог до транспортного засобу і умов експлуатації цілком доцільним може виявитися, наприклад, використання пневматичного приводу, в якому пневматичний агрегат є основним чи допоміжним.

3.2. Конструкції і характеристики електродвигунів

У назві типу електричного двигуна (ЕД) закладено кілька слів, що визначають його якісні характеристики (атрибути):

- рід струму (змінного, постійного) і число фаз (однофазний, трьох-фазний, багатофазний) напруги живлення;
- спосіб передачі енергії на ротор (колекторний, безколекторний, індукторний, реактивний);
- принцип будови двигунів змінного струму (синхронний, асинхронний з короткозамкненим або фазним ротором);
- спосіб подачі напруги живлення (мережеві, вентильні);

- особливості компонування ротора (із вбудованими постійними магнітами, з поверхневою установкою постійних магнітів, з обмоткою збудження, реактивні, індукторні) і конструкції двигуна (на станині, фланцеві, циліндричні, дискові);

- частини ЕД, яка обертається (осьові, маточині) і розташуванню якірної обмотки (на роторі, на статорі).

Остання ознака є визначальним для систем мотор-колеса. Дано характеристику ЕД обмеженого та спеціального призначення.

Індукторні синхронні машини (двигуни і генератори) мають традиційну конструкцію статора з розподіленими полюсами якірної багатофазної обмотки, включеної за схемою «трикутник» або «багатокутник». Обмотка збудження також розташована на статорі і утворює із залізом машини індуктор (пристрій збудження магнітного потоку). Зважаючи на відсутність електричного кола на роторі, такі машини відносяться до групи безконтактних роторних пристроїв. Конструкція 4х-фазної індукторної машини показана на рис. 3.3.

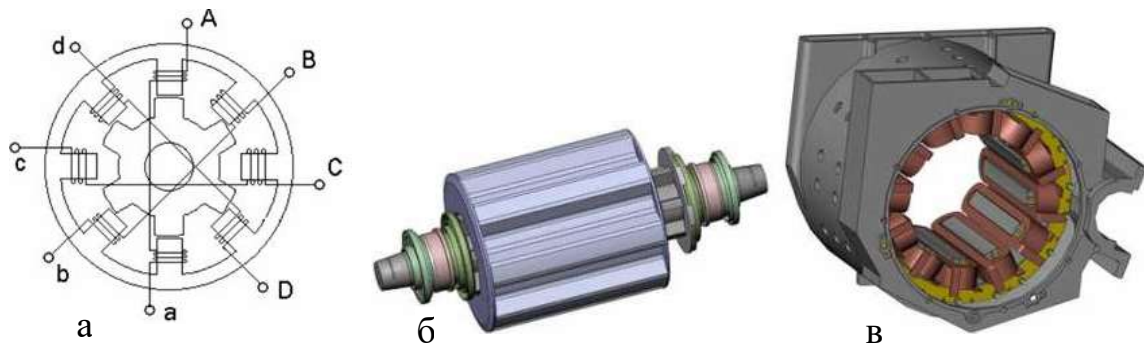


Рис.3.3. Устрій індукторної машини:

а – схема компоновки; б – конструкція ротора; в – конструкція статора

У синхронному двигуні може використовуватися збудження від постійних магнітів, розташованих на роторі (обмотка збудження відсутня). Такі двигуни відрізняються рядом переваг:

- немає щітко-колекторного вузла (підвищений ресурс, надійність, діапазон робочих швидкостей);
- широкий діапазон напруги живлення, допускаються значні перевантаження по моменту;
- висока динаміка моменту;
- можливе регулювання швидкості зі збереженням моменту на низьких або зі збереженням потужності на високих швидкостях;
- ККД більше 90 %;

- мінімальні втрати на холостому ходу;
- невеликі масогабаритні показники.

Синхронний реактивний електродвигун має статор традиційної полюсної конструкції з розподіленою обмоткою і не має обмотки збудження або постійних магнітів. Обертаючий момент реактивного двигуна обумовлений нерівністю магнітних провідностей уздовж поперечної і поздовжньої осей ротора. Для отримання реактивного поля використовуються різні конструкції ротора (рис. 3.4).

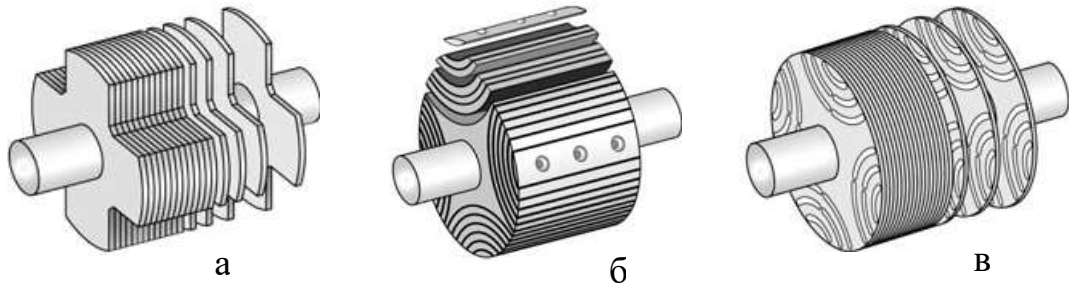


Рис. 3.4. Конструкція ротора синхронного реактивного двигуна:
а – з явно вираженими полюсами; б – аксіально-розширений;
в – поперечно-розширений

Поверхня ротора з явно вираженими полюсами повторює конструкцію індукторного двигуна, і тому отримали назву – індукторні-реактивні (ІРД). Переваги реактивних двигунів:

- безконтактний;
- проста і надійна конструкція ротора без магнітів і обмотки;
- низький нагрів (в роторі відсутні струми);
- низька ціна електродвигуна;
- низький момент інерції ротора (економія енергії на розгін);
- широкий діапазон регулювання швидкості.

До недоліків реактивних двигунів слід віднести низький коефіцієнт потужності і необхідність використання перетворювачів частоти при керуванні у швидкісному діапазоні.

Вентильні двигуни на відміну від двигунів прямого підключення (від промислової мережі) мають зовнішню комутацію струму живлячої напруги за допомогою DC/AC перетворювачів – інверторів. Система бесколлекторного вентильного двигуна крім багатофазної машини змінного струму (синхронної або асинхронної) додатково включає перетворювач координат, інвертор і датчик положення.

Вентильний індукторний двигун (ВІД) поєднує в собі властивості і електричної машини, і інтегрованої системи керованого електроприводу. Як система регульованого електропривода, ВІД дає можливість здійснювати керування відповідно до особливостей конкретного навантаження (регулювати частоту, момент і потужність).

На транспортних засобах, у якості тягових знайшли застосування вентильні ЕД наступних типів:

- асинхронний двигун з короткозамкненим ротором АДКР;
- синхронний двигун з поверхневою установкою постійних магнітів СДПМП;
- синхронний двигун із вбудованими постійними магнітами СДПМВ;
- синхронний реактивний двигун з постійними магнітами СРД-ПМ;
- синхронний двигун з обмоткою збудження СДОВ.

Нижче представлені порівняльні характеристики, перерахованих типів вентильних ЕД при обмеженому струмі статора (рис. 3.5).

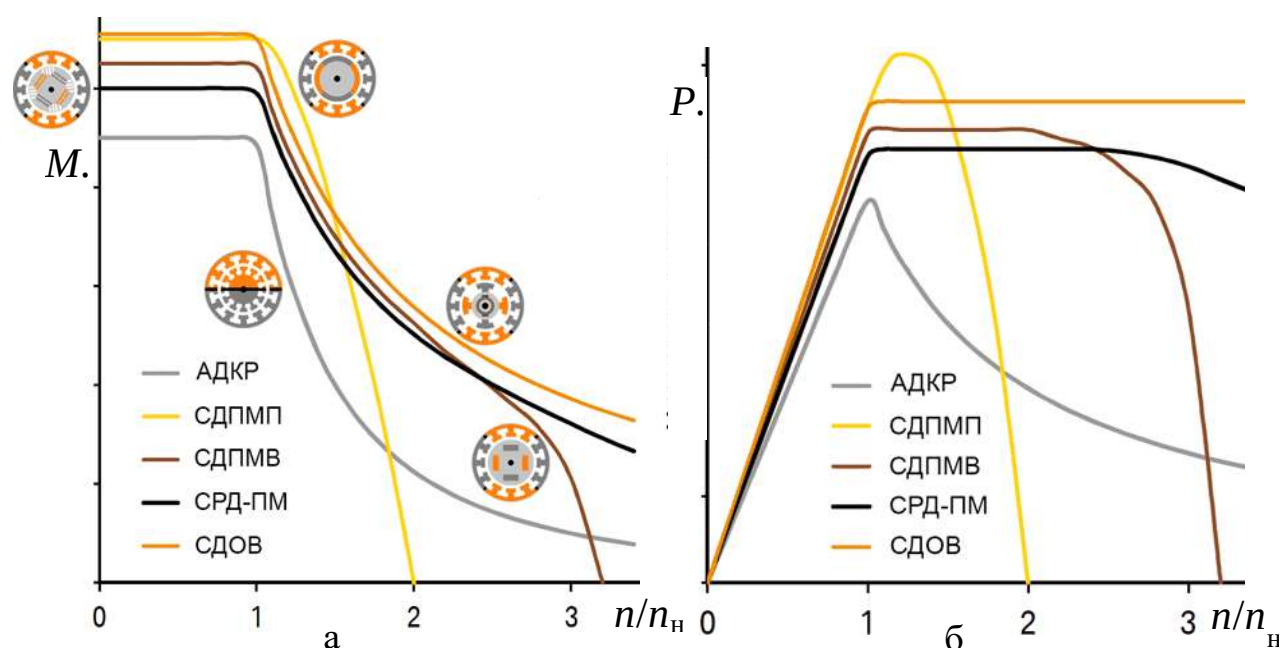


Рис. 3.5. Механічні характеристики електродвигунів різних типів:
а – моментні; б – потужнісні

Аналіз характеристик показує, що ЕД типу СРД-ПМ і СДОВ, є найбільш придатними для застосування на автомобілі [33].

На відміну від ЕД загального застосування з установкою на плоску станину, розроблені оригінальні конструкції корпусів машин для транспортного приводу (рис. 3.6).

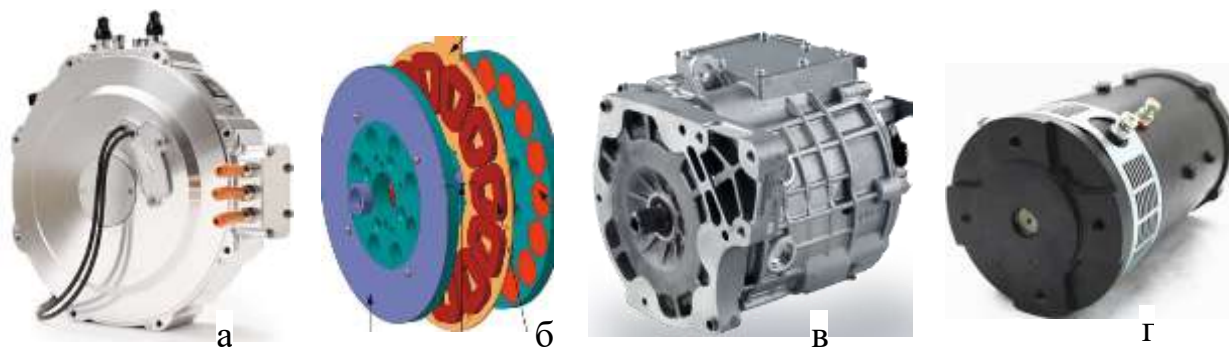


Рис. 3.6. Конструкції тягових електродвигунів:
а – дисковий Yasa Motors; б – компоновка плоских полюсів;
в – фланцевий; г – циліндричний

Компанія Yasa Motors представила дисковий агрегат, який при вазі 25 кг здатний видавати до 650 Нм крутного моменту. Оригінальність конструкції отримана за технологією плоских полюсів.

3.3. Склад і структура електричного приводу автомобіля

У загальному випадку, склад електричного приводу (ЕП) автомобіля можна надати компонентними варіантами його основних функціональних елементів (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Склад електроприводу автомобіля

Первинним джерелом електричної енергії на електромобілях є тягова акумуляторна батарея (ТАБ). Вона складається з безлічі окремих акумуляторів, підключених послідовно (рис. 3.8).

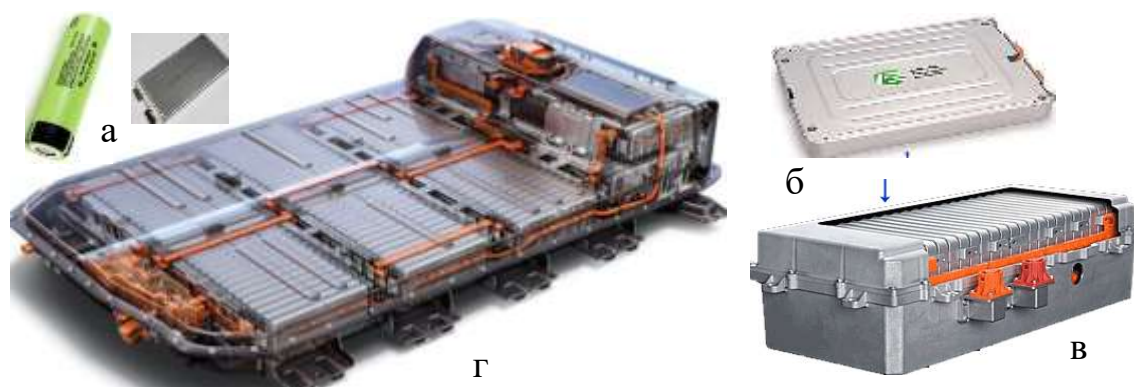


Рис.3.8. Устрій тягової акумуляторної батареї:

а – акумулятори осередку; б – касетна збірка акумуляторів; в – модульне складання касет; г – тягова батарея Chevrolet Volt EV у зборі

На виході ТАБ формується напруга від 300...700 В при ємності 60 кВт*ч, сумарною з потужністю тягового двигуна (до 100 кВт). В електромобілях, найчастіше використовують літій-іонні батареї. Середній період експлуатації таких ТАБ становить 8 років, число циклів зарядів батареї – кілька тисяч циклів. При цьому, вони мають підвищену питому енергетичну ємність (0,8...2,6 кВт*год/кг), малий саморозряд і поліпшені зарядні характеристики.

Основним обмеженням літій-іонних акумуляторів є вузький діапазон робочих температур (25...45°C) і висока собівартість. Знижені температури викликають втрату ємності, підвищені, – ведуть до руйнування структури. У зв'язку з цим в конструкції ТАБ встановлюються датчики температури і передбачається система примусового охолодження. Важливу роль, при цьому, відіграє коректна експлуатація ТАБ, яка передбачає: нормативну зарядку і розрядку батареї; розумну експлуатацію в зимовий і літній періоди; грамотний вибір навантажувального режиму; своєчасне визначення втрати ємності окремих акумуляторів [34]. За рахунок наявності в конструкції бортового зарядного пристрою гарантується зарядка акумулятора від промислової електромережі.

Генератор використовується в гібридних установках і приводиться в дію від ДВЗ. Служить автономним джерелом електроенергії для заряду ТАБ або живлення тягового електродвигуна. У рекупера-

тивних системах, генератор приводиться в дію за рахунок енергії гальмування автомобіля.

Конденсатор великої ємності зазвичай використовується, як буферний накопичувач енергії в гібридних установках або рекуперативних системах. У порівнянні з ТАБ, конденсатор характеризується високою динамікою зарядно-розрядних процесів.

В електромобілях, у якості тягових можуть використовуватися різні типи електродвигунів, розглянуті раніше. Широке застосування знайшли оборотні машини постійного і змінного (синхронні, асинхронні) струму з вентильним керуванням.

Об'єднання електромотора і частини трансмісії в один модуль (електричну трансмісію) привело до появи універсальних модулів різного призначення (рис. 3.9).



Рис.3.9. Модулі електроприводів промислових зразків:

а – задньої осі Driveline; б – центральна установка eDrive; в – повідний міст; г – карданна установка Renault Zoe

Подібний модуль можна використовувати як основний – для привода електромобіля, або як допоміжний, щоб додати електропривод однієї з осей, перетворивши звичайний автомобіль в гібрид з повним приводом. Прикладом застосування трифазного агрегату асинхронного типу є гібридний автомобіль Volt від Chevrolet. А автомобіль з трифазним синхронним двигуном i-MiEV від Mitsubishi є виключно електричним [35].

Другим підходом в реалізації електроприводу автомобіля є застосування технології мотор-коліс, яка дає ряд переваг:

- відсутність громіздкої трансмісії;
- відмінна динаміка приводу;
- маневреність автомобіля;
- спрощена система рекуперації енергії гальмування;
- забезпечення активної безпеки руху.

Поряд з цим мотор-колеса мають суттєві недоліки:

- надлишкова маса механізмів, які розміщені всередині обіду, знижує комфорт і керованість, підвищує знос і знижує ефективність підвіски;

- підвищені вимоги до герметичності;

- значні витрати на ремонт мотор-колеса або його заміну.

Системи мотор колеса реалізуються за кількома варіантами, що відрізняються принципом будови і ступенем інтеграції (рис. 3.10).



Рис.3.10. Варіанти конструкцій мотор-колес:

- а – активне колесо підвіски дискретної компоновки Active Wheel;
б – маточинний інтегрований електропривод E-Wheel Drive; в – дисковий електромотор; г – мотор-колесо Дуюнова; д – мотор-колесо Шкондіна

Так, наприклад, в конструкції спорткара Volage використовується *тяговий двигун Active Wheel* компанії Michelin (рис. 3.10, а). Його вага становить 7 кг, а маса колеса у зборі – 11 кг. Основа Active Wheel (активне колесо) – легка алюмінієва рама, яка простим жорстким важелем сполучена з підрамником кузова. З'єднання зроблено рухливим, щоб колесо могло повертатися. До внутрішньої поверхні рами кріпляться всі елементи Active Wheel, а сам обід закріплюється на плоскій дископодібній маточині. Гальмівний механізм складається з диска, що обертається і супортів з електромагнітними актуаторами. Тяговий електродвигун під час гальмування працює в режимі генератора, виробляючи електроенергію для живлення ТАБ. Підвіска складається зі сталевих пружин і електричних амортизаторів. Моторчик,

керуючий амортизаторами, відповідає також за поворот колеса. Завдяки більшому куту повороту електромобіль має підвищену маневреність [36].

Компанія Schaeffler представила маточинний *тяговий електропривод E-Wheel Drive* (електричний повний привід), розроблений у співпраці з компанією Ford (рис. 3.10, б). Два електродвигуна, встановлені в задні колісні арки автомобіля Ford мають потужність до 40 кВт кожен і розвивають крутний момент до 700 Нм.

Schaeffler E-Wheel Drive – це тягові маточинні електроприводи з високим ступенем інтеграції. Всі необхідні конструктивні елементи: електродвигун, силова електроніка і контролер, а також гальма, розміщуються всередині колісного диска.

Мотор-колесо моделі Дуюнова побудовано за принципом асинхронного двигуна де не використовуються постійні магніти (рис. 3.10, г). Конструкція розроблена на основі інноваційних технологій суміщених обмоток. Переваги: собівартість, відмінний накат, низький рівень шуму, подовжений термін експлуатації, підвищена надійність. Обмотки двигуна об'єднані у шести-фазний двигун за схемою «Слов'янки» (комбінація «зірки» і «трикутника») фази якого підключаються до мережі в три етапи (рис. 3.11, а).

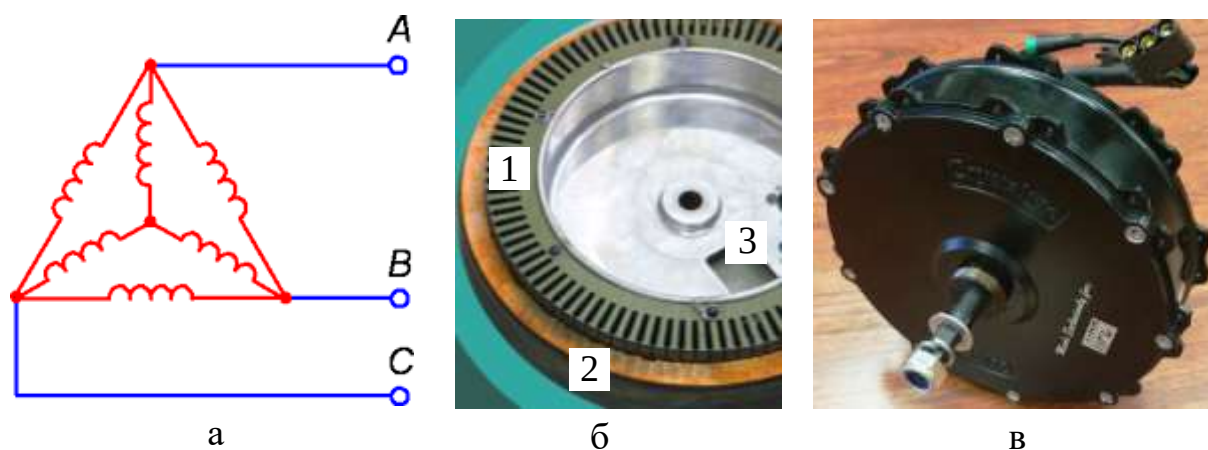


Рис.3.11. Устрій мотор-колеса Дуюнова:

а – включення обмоток по схемі «Слов'янка»;

б – конструкція магнітної системи; в – зовнішній вигляд

Конструктивна оригінальність двигуна Дуюнова полягає в тому, що статор двигуна 1 знаходиться всередині (маточина), а короткозамкнений ротор 2, обертається зовні (рис. 3.11, б). Для керування ЕД використовується інформація з датчика кутового положення статора

(енкодер) і датчика температури. Датчики розташовані на статорі 3, а енкрийментний диск енкрийдера – на роторі.

Переваги оригінального ЕД в порівнянні зі звичайними асинхронними: високий ККД в діапазоні навантажень 25...150 % (зниження витрат електроенергії на 15...50 %); збільшення максимального крутного моменту на 10...100 %; збільшення пускового моменту на 20...50 %; зменшення пускових струмів в 2 рази; зниження рівня шуму на 6...7 дБА; зменшення температури нагрівання обмоток [36].

У мотор-колесі Шкондіна статор розміщений всередині ротора (рис. 3.10, д). На статорі встановлені 11 пар магнітів, полярність яких чергується. На роторі встановлені 6 електромагнітів з U-подібними сердечниками, що утворюють 12 полюсів ротора (рис. 3.12, а, б).

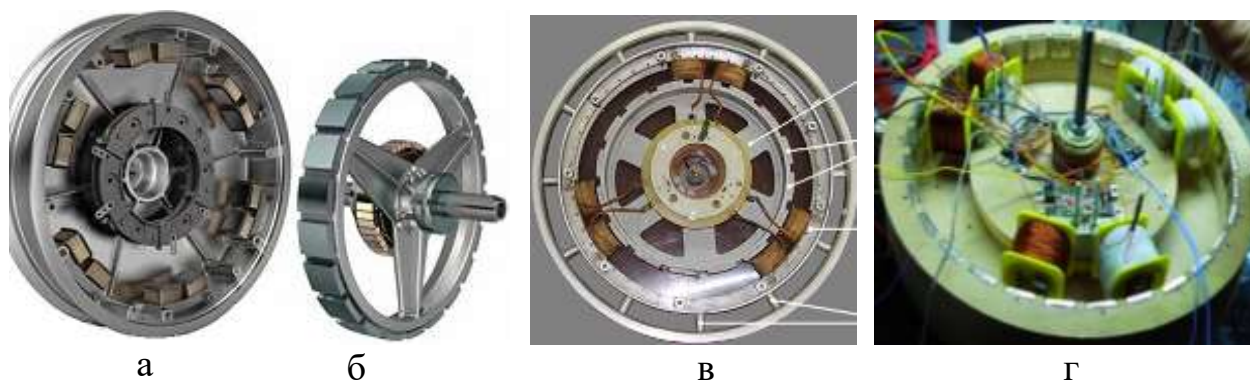


Рис.3.12. Устрій мотор-колеса Шкондіна:

а – роторна частина; б – статорна частина; в – колекторний варіант;
г – безколекторний варіант

Фізика отримання крутного моменту аналогічна вентильним індукторним двигунам з різницею в розташуванні якірних обмоток (на роторі). У соленоїди, які закріплені на зовнішньому роторі, через щітко-колекторний вузол з тригером Шкондіна подаються імпульси струму різної полярності, створюючи обертаюче магнітне поле. При цьому, в певні моменти у співпадаючих полюсах статора і ротора живлення вимикається, а в інших незбіжних полюсах притягання, змінюється на відштовхування (змінюється полярність імпульсів). Тригер додатково дозволяє частково рекуперувати енергію з обмоток, які не задіяні в створенні крутного моменту (що збігається положення полюсів) і можуть використовуватися як генераторні. Основні переваги: високий ККД; простота конструкції; відносно невисока вартість. До недоліків слід віднести: поганий тепловий режим, скла-

дність регулювання швидкості обертання; наявність механічного комутуючого пристрою [37]. Останній недолік усувається в безколекторному двигуні, де якірні обмотки розміщені на внутрішньому статорі, а полюсні магніти – на зовнішньому роторі (рис. 3.12, г).

Для узгодження параметрів напруги джерел (ТАБ, генератора) і споживачів (електродвигунів) електричної енергії використовуються різні електронні пристрої, об'єднані в конструкції блоків перетворювачів напруги [38]. (рис. 3.13).



Рис.3.13. Зовнішній вигляд блоків перетворювачів напруги автомобілів: а – Toyota Prius II; б – Camry Hybrid SiC; в – Lexus CT 200 h

Окремі *перетворювачі напруги* (джерела вторинної напруги) електричного приводу побудовані за різними схемними рішеннями (рис. 3.14). Підвищення постійної напруги (рис. 3.14, а) реалізується за рахунок комутації струму в реакторі L . Імпульси індукованої напруги подвоєної амплітуди на виході комутатору VT інтегруються ємністю C_{Φ} (фільтр, що згладжує) і на виході перетворювача підтримується постійна напруга. Резистор $R_{\text{вих}}$ забезпечує розрядження C_{Φ} при зниженні напруги, що регулюється в процесі керування.

Зниження постійної напруги (рис. 3.14, б) досягають за рахунок підвищення реактивного опору в індуктивному елементі L , шляхом підвищення частоти комутації струму. Резистор $R_{\text{вх}}$ узгоджує опір перетворювача з потужністю джерела вхідної напруги.

Для перетворення постійної напруги в систему трьохфазної напруги живлення електричної машини використовується шести-плечовий міст ключів (рис. 3.14, в). Почергове вмикання ключів за визначеним алгоритмом дозволяє отримати певну послідовність імпульсів струму в кожній фазі, які зсунуті одне до одного за часом на третину періоду (фази зсунуті на 120°). Зворотнє перетворення напруги (трьохфазної в постійну) реалізують на трьохфазному випрямлячі побудованому за схемою Лаврентьєва (рис. 3.14, г).

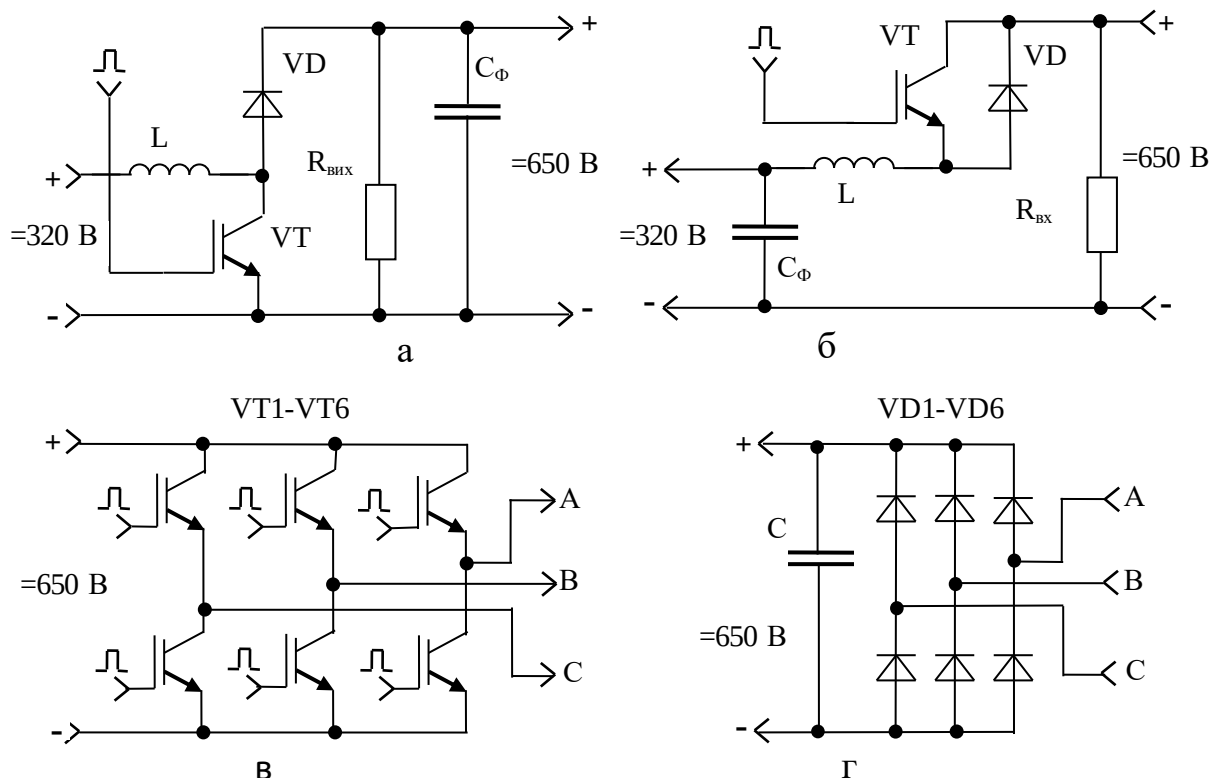


Рис. 3.14. Схеми електричні принципи перетворювачів напруги:
а – підвищення постійної напруги; б – зниження постійної напруги;
в – постійної напруги в трьохфазну (інвертор);
г – трьохфазної напруги в постійну (випрямляч)

Для перетворення електричної енергії в обертовий момент і навпаки використовуються електричні машини подвійного призначення. Найбільш ефективними перетворювачами в цьому плані є вентильні трьохфазні електричні машини, які характеризуються високими питомими показниками (розвивають високу потужність на валу при невеликих габаритних розмірах і масі, мають значну перевантажувальну здатність).

Система керування організує такі процеси:

- моніторинг використовуваної енергії;
- керування рекуперацією енергії гальмування;
- оцінка рівня заряду;
- керування динамікою руху;
- забезпечення необхідного режиму руху;
- регулювання тяги;
- керування напругою.

3.4. Керування вентилями електричними машинами

Основні вимоги до системи керування електроприводом (ЕП), відповідають режимам руху автомобіля:

- плавна зміна швидкості;
- автоматична підтримка встановленої швидкості;
- плавне керування тяговим і гальмівним моментом;
- автоматичне обмеження максимального моменту і потужності;
- обмеження зарядного струму ТАБ;
- можливість руху в режимі накату з подальшим плавним разгоном або електричним гальмуванням.

Функціонально, системи вентиляного електродвигуна (ВЕД) складаються з електричної машини (об'єкта керування) з координатним датчиком (зворотним зв'язком), частотного перетворювача напруги (системи керування) і силових кіл (виконавчих пристроїв). Виходячи з цього, вентильні системи керування можна розрізняти за загальними класифікаційними ознаками:

- типом керованого двигуна (ДПС, синхронний, асинхронний);
- родом струму первинного джерела напруги;
- методом керування (скалярний, векторний);
- видом датчика зворотного зв'язку (положення ротора, струму в фазах).

На борту автомобіля первинним джерелом напруги є ТАБ постійного струму, тому застосування ДПС вимагає мінімальних витрат на реалізацію системи керування (пряме або адаптивне ШІМ-регулювання). Однак, зважаючи на малу питому потужність і надійність (наявність щітко-колекторного вузла), ДПС значно поступаються машинам змінного струму. Вентильні системи синхронних і асинхронних двигунів також розрізняють за ознакою напруги живлення – постійного струму BLDC (Brush Less DC) і змінного РМАС (Permanent Magnet AC) струму. На автомобілі застосовуються вентильні системи першої групи.

Метод керування вентилями машинами змінного струму визначає алгоритм функціонування частотного перетворювача системи керування [39].

Скалярний метод керування полягає у підтримці постійного співвідношення між значеннями напруги і частоти напруги живлення машини у усьому робочому діапазоні швидкостей. При цьому, сила

струму в обмотках, а отже й крутний момент на валу, залишаються незмінними. Така система проста в реалізації, але має недоліки:

- неможливо реалізувати систему керування асинхронним двигуном при різкому збільшенні навантаження без датчиків кутового положення ротору;

- система керування швидкістю з датчиком зворотного зв'язку під навантаженням синхронного двигуна має низьку точність і може зовсім вийти з синхронізму;

- неможливо одночасно керувати і моментом, і швидкістю.

Векторне керування на відміну від скалярного, дозволяє незалежно і без інерції керувати швидкістю обертання і моментом на валу двигуна. При цьому, крім зазначених параметрів, необхідно керувати ще й фазою напруги живлення (контролювати значення і кут просторового вектору) [40]. Отримання обертаючого магнітного поля передбачає перехід від параметрів напруги до параметрів струму в фазах, залежно від навантаження двигуна, за допомогою перетворювача координат. Обертова система координат фазних струмів створює максимальний крутний момент двигуна, коли вектор потоку фаз по відношенню до вектору потоку ротора (магніту) зсунутий на 90° . Векторне керування реалізується кількома способами:

- поле-орієнтоване керування;
- керування моментом з просторово-векторною модуляцією потоку статора;
- пряме керування моментом з таблицею вмикання;
- адаптивне пряме керування моментом;
- пряме керування моментом з ШІМ-модуляцією;
- пряме самостійне керування;

Для реалізації алгоритму керування ВЕД, який живиться від мережі постійної напруги, потрібна інформація про поточне положення і частоту обертання ротора машини (зворотний зв'язок). Цю інформацію отримують на підставі сигналів датчиків кутового положення ротора (ДКПР) або миттєвого значення струмів в фазах (ДМЗС).

У якості датчиків положення ротора застосовуються аналогові і цифрові датчики різного принципу будови і конструктивного виконання (рис. 3.15).

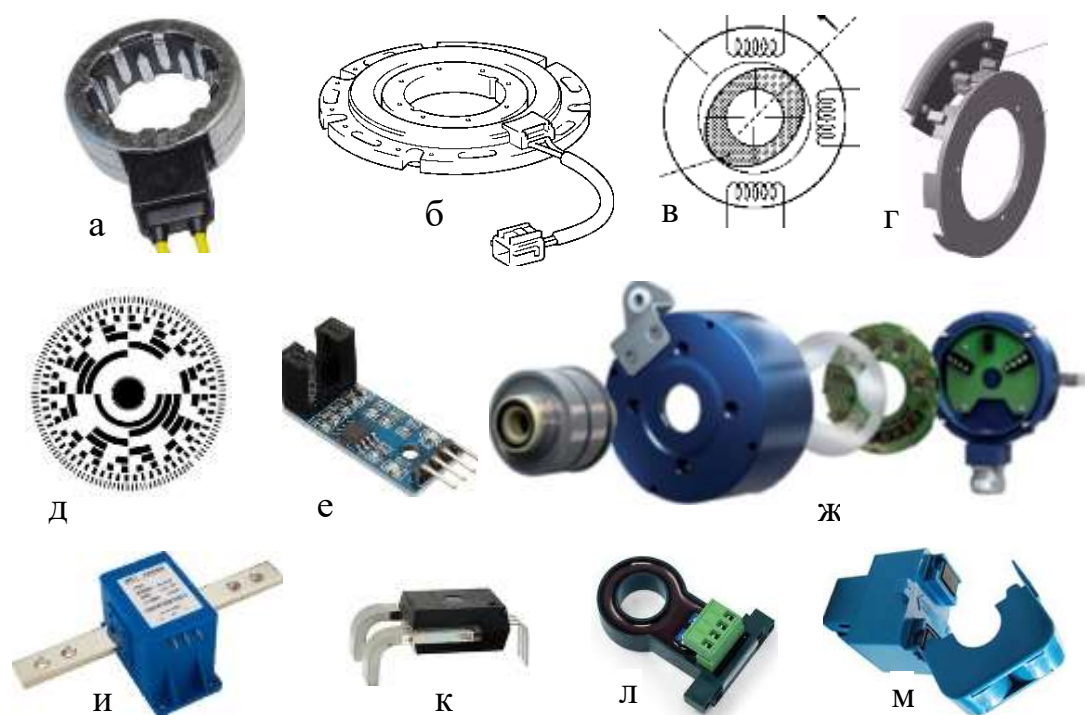


Рис. 3.15. Конструкція і устрій датчиків системи ВЕД:

а – генераторного типу; б, в – трансформаторного типу; г – ансамбль Холла; д – кодуючий диск енкодера; е – вимірювальна частина енкодера; ж – збірка енкодера; і...м – датчики струму різного виконання

Тахогенератори трифазного змінного струму зі збудженням від постійних магнітів (рис. 3.15, а) встановлюються в конструкції синхронної машини. Сигнал електромеханічного датчика моделює фазні напруги, що підводяться до синхронної машині і несе інформацію про кутове положення ротора (миттєві значення напруги) і частоту обертання (частота напруги) двигуна при його стаціонарному обертанні. Недоліки: відсутність сигналу (інформації про стартовий положення ротора) на момент початку руху; застосовується тільки для синхронних двигунів; неадекватність сигналу при динамічних навантаженнях; необхідність перетворення сигналу до цифрового виду і доопрацювання конструкції базової машини.

Датчик синхронізуючих сигналів трансформаторного типу на статорі має три обмотки (збудження і дві вимірювальні). Вимірювальні (вторинні) котушки зсунені відносно одна одної на 90 електричних градусів (рис. 3.15, в). На роторі датчика встановлений сердечник еліпсоїдної форми. На первинну котушку збудження подається напруга змінного струму несучої частоти, яка трансформується у вимірювальні обмотки з різним коефіцієнтом передачі, залежно від положення ротора (сердечника). При обертанні ротора, сигнали у вимі-

рювальних обмотках модулюються за амплітудою зі зсувом на 90 електричних градусів. Таким чином, на підставі двох синусоїдальних сигналів ідентифікується не тільки поточне положення, а й напрямок обертання ротора. Основна перевага модулюючого трансформатора перед датчиком генераторного типу, це наявність інформаційного сигналу положення ротору в нерухомому (стартовому) стані двигуна.

Ансамбль Холла складається з набору цифрових датчиків Холла, розташованих на статорі, з певними кутовими зсувами, і роторного диска з пластинами, які екранують магнітний потік, або постійними магнітами (рис. 3.15, г). При обертанні диска, цифровий сигнал формується датчиком, розміщення якого відповідає кутовому положенню ротора двигуна. Основна перевага – отримання сигналу в цифровому вигляді при обертанні ротора і його стартовому положенні.

Енкодери (оптичні, магнітні, ємнісні) містять кодуєчий диск на роторі (рис. 3.15, д) і вимірювальний вузол на статорі (рис. 3.15, е). Зазвичай, конструкція датчика має закінчений вигляд (рис. 3.15, ж). Основна перевага – отримання сигналу при обертанні і початковому стані ротора у вигляді двійкового коду з високою роздільною здатністю, недолік – висока вартість.

Безконтактні датчики струму побудовані на базі лінійних мікросхем Холла мають гальванічне (рис. 3.15, і, к) або дистанційоване (рис. 3.15, л, м) підключення. На відміну від розглянутих, датчики струму встановлюються не в конструкції електричної машини, а монтується в блоці силової електроніки (система без датчиків). Спеціальні датчики мають вбудований АЦП. Інформація з датчиків струму фаз дозволять значно спростити алгоритм керування статорними обмотками асинхронного двигуна.

Для прикладу, розглянемо структурну схему системи вентиляного синхронного двигуна, яка складається з синхронної машини СД з координатним датчиком положення ротора ДПР, контролера електричної машини КЕМ і силових кіл. Сигнал ДПР одночасно несе інформацію і про частоту обертання ротора ДЧО (рис. 3.16).

Швидкісний режим ВЕД задається сигналом датчика положення акселератора ДПА (електронна псевдопедаль). На момент початку руху або при стаціонарному швидкісному режимі, перетворювач координат обчислює оптимальні фазо-часові параметри фазних струмів на підставі інформації, отриманої від датчика ДПР.

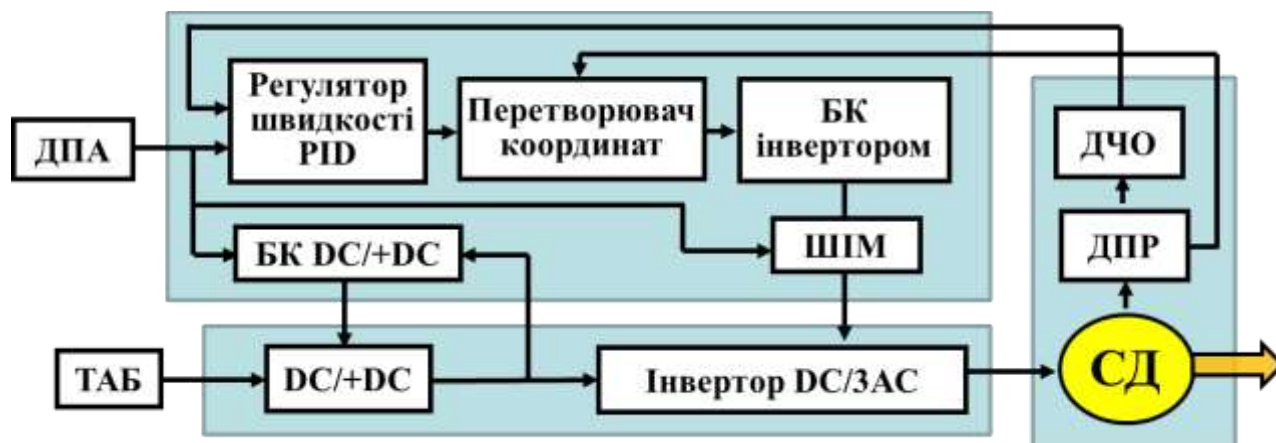


Рис. 3.16. Структурна схема системи вентильної синхронної машини

Блок керування інвертором, згідно з отриманими даними, формує послідовність адресних імпульсів для керування силовими ключами інвертора. Інвертор підключає живлення фазних обмоток синхронного двигуна СД до джерела напруги. Для узгодження номінальної напруги ТАБ з робочою напругою двигуна використовується підвищуючий перетворювач постійної напруги DC/+DC. Для стабілізації обраного швидкісного режиму використовується ПІД-регулятор зі зворотним зв'язком по сигналу датчика частоти обертання ДЧО.

У динамічних режимах, зміну частоти обертання під заданим навантаженням двигуна, можна досягти двома способами – зміною напруги на виході DC/+DC або зміною середнього значення струму за допомогою ШІМ-регулювання. У першому випадку, регулюється частота імпульсів керування ключем перетворювача DC/+DC, в другому, – шпаруватість імпульсів насічки сигналів керування ключами інвертора.

Оборотність синхронної машини використовується для зарядки ТАБ за рахунок рекуперативної енергії гальмування. Режими ЕП у статусах мотора «М» або генератора «Г» активізуються натисканням педалей відповідно акселератора або гальма (рис. 3.17).

У режимі мотора, потужність передається описаним способом (суцільні стрілки). У режимі генератора (пунктирні стрілки), використовується випрямляч і понижуючий перетворювач DC/-DC. У КЕМ надходить інформація про частоту обертання ротора генератора n і про рівень зарядного струму i , батареї ТАБ.

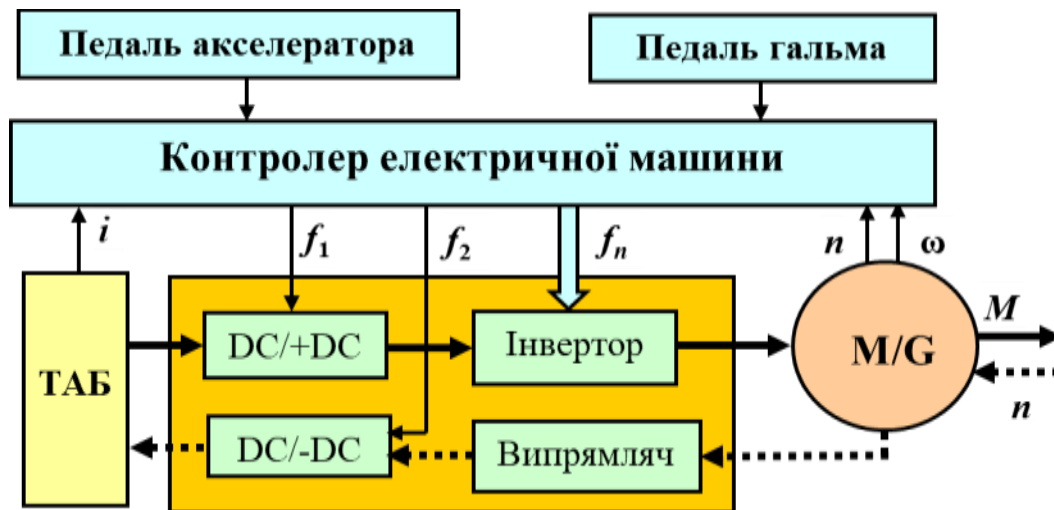


Рис. 3.17. Функціональна схема електроприводу з оборотною синхронною машиною

На підставі цих сигналів, КЕМ регулює коефіцієнт передачі перетворювача DC/-DC зміною частоти імпульсів керування f_2 , обмежуючи струм заряду на допустимому рівні. У реальних системах контролюється температура силових елементів для визначення їхнього електричного навантаження і ступеню зарядженості ТАБ.

Синтез окремих перетворювачів напруги різного призначення (див. рис. 3.14) дозволяє поєднати їх в блок силових кіл (рис. 3.18).

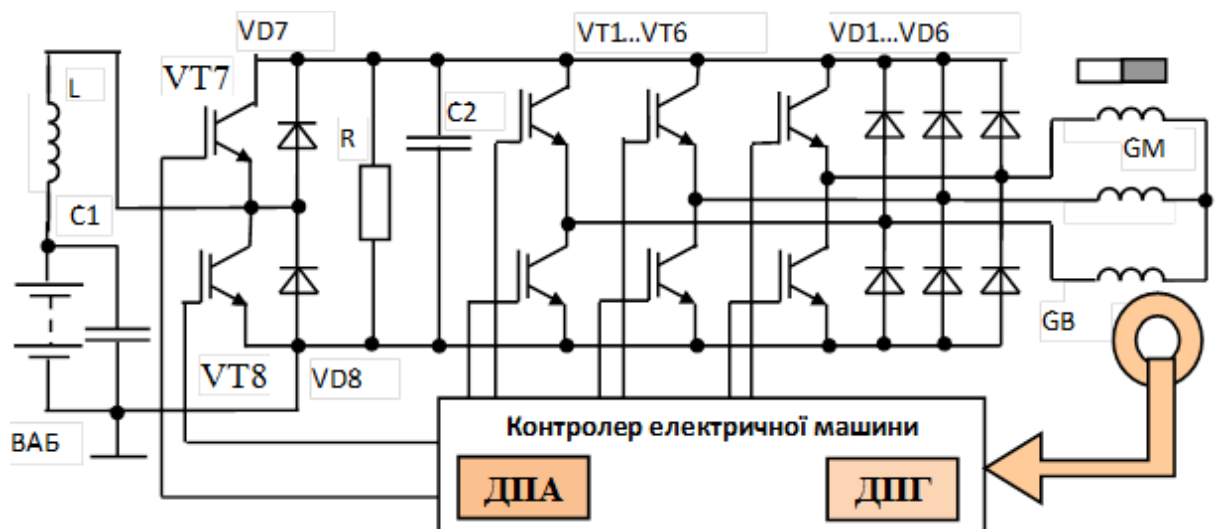


Рис. 3.18. Схема електрична силових кіл оборотного приводу

На схемі (рис. 3.18) позначені елементи:

- VT1...VT6 – транзисторні ключі інвертора;
- VD1...VD6 – діоди випрямляча;

- VT7 – транзистор комутатора понижуючого перетворювача;
- VT8 – транзистор комутатора підвищуючого перетворювача;
- VD7 – випрямний діод DC/+ DC;
- VD8 – діод захисту VT8 від імпульсних перенапруг;
- C1 – згладжуючий фільтр;
- C2 – інтегруюча ємність;
- L – дросельний реактор;
- R – розрядний опір.

3.5. Структура гібридних силових установок з електричним приводом

Під електричним гібридом в повному сенсі слова розуміють автомобіль, привід якого здійснюється від ДВЗ і тягового електродвигуна. На сучасному етапі, електрогібриди класифікують за кількома ознаками [41] (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Класифікація гібридів за загальними ознаками

Залежно від того, яку роль в силовій установці грає електрична машина, гібриди поділяють на пасивні мікрогібриди (assisted hybrids), помірні або м'які (mild hybrids) і повні (full hybrids) гібриди. У перших, електрична машина реалізує системи Start-Stop і рекуперації енергії гальмування, у других, – електромотор служить поміч-

ником ДВЗ в режимах розгону і прискорення, у третіх, – електропривод забезпечує обмежений автономний режим руху на електротязі.

У *мікро-гібридах*, зазвичай, використовується резидентна напруга 12 В, а електрична машина (генератор) має малу потужність. У таких системах може використовуватися оборотна електрична машина подвійного призначення (діностартер).

М'який гібрид з невеликою (за запасом енергії) АКБ и електродвигун обмеженої потужності, який включається в роботу при розгоні автомобіля поряд з роботою основного ДВЗ. М'які гібриди можуть використовувати системи живлення електроприводу підвищеної (36 В, 42 В) або високої (300...700 В) напруги. При цьому, композиція гібридного приводу передбачає паралельне або послідовне додавання крутних моментів альтернативних двигунів (рис. 3.20).

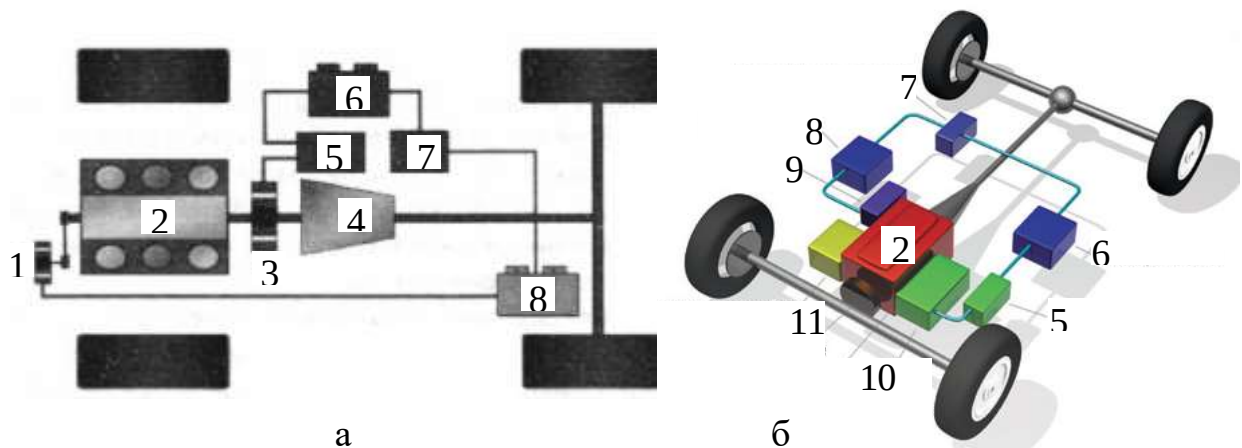


Рис. 3.20. Композиції м'яких гібридів: а – послідовна; б – паралельна

На рис. 3.20, б позначено: 1 – генератор (12 В); 2 – ДВЗ; 3 – електродвигун; 4 – АКП; 5 – модуль силових електронік; 6 – ТАБ; 7 – DC/DC-перетворювач; 8 – АКБ; 9 – стартер; 10 – оборотна електрична машина; 11 – електромагнітне зчеплення.

Для *повного гібриду* характерні висока напруга живлення та значна потужність тягового електродвигуна. Для цього, в системі використовується потужна ТАБ. У повних гібридах для збільшення автономного пробігу на електротязі використовуються пристрої заряду ТАБ від зовнішніх джерел. Такі автомобілі отримали назву – «Гібрид, який підзаряджається» PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Можлива компромісна схема активної системи Start-Stop, в якій електрична тяга використовується тільки в режимі короточасних переміщень на малій швидкості (рух в пробці) за рахунок електрос-

тартера. Основний недолік такого рішення, це значне енергоспоживання електродвигуна стартера у пускових режимах. Проблема може вирішуватися шляхом застосування електричних вентильних або пневматичних стартерних машин. В останньому випадку, машина має максимальний ККД і крутний момент на мінімальних швидкостях переміщення автомобіля.

З позиції структури і способу передачі потужності на колеса автомобіля розрізняють три композиції гібридних систем – послідовну, паралельну і змішану (комбіновану).

Послідовний гібрид – композиція, в якій ДВЗ приводить в дію тільки генератор «G» (рис. 3.21, а).

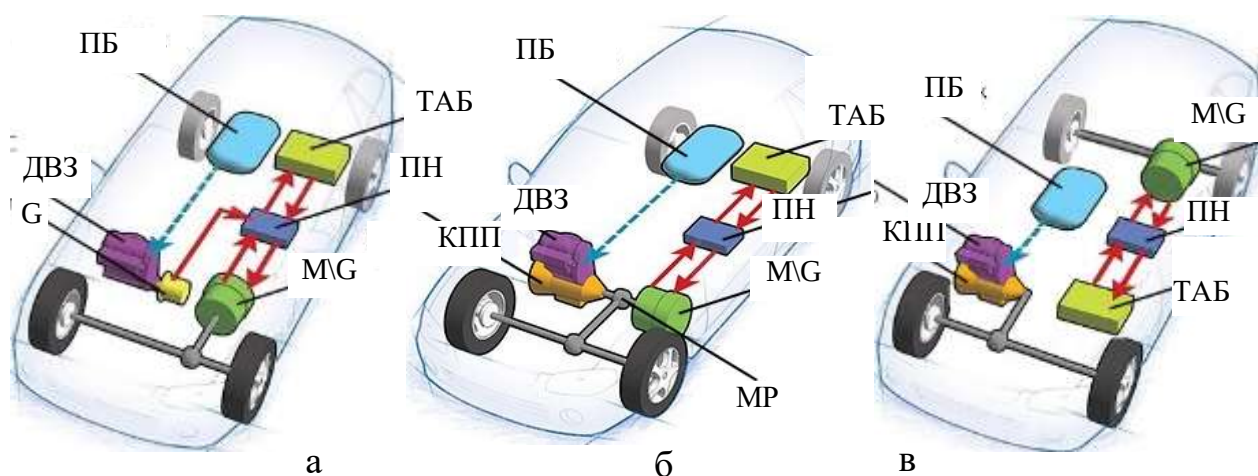


Рис. 3.21. Схеми включення силових агрегатів ГСУ:
а – послідовна; б – паралельна; в – комбінована

У цій схемі, ДВЗ обертає генератор, працюючи в режимі максимальної економії палива. Електроенергія, утворена генератором через модуль керування (перетворювач напруги ПН), надходить або на тяговий електродвигун M/G, або в ТАБ. Електродвигун через трансмісію передає на колеса потрібний крутний момент, а в режимі гальмування працює як генератор, заряджаючи ТАБ (режим рекуперації енергії гальмування). Такі гібриди маркуються аббревіатурою REEV (Range-Extended Electric Vehicle) або EREV (Extended-Range Electric Vehicle). Плюси цієї схеми: постійна робота ДВЗ в економічному режимі, простота і відсутність складної трансмісії. З мінусів слід відзначити: малий ККД механізму передачі енергії від ДВЗ до ведучих коліс автомобіля; неможливість домогтися складення потужностей

альтернативних двигунів приводу; неможливість руху в разі повної розрядки ТАБ (потрібен час для зарядження від працюючого ДВЗ).

Паралельна композиція передбачає механічний зв'язок ДВЗ і тягового електродвигуна з повідними колесами автомобіля через механізм розподілу МР (рис. 3.21, б). Електродвигун, при цьому, живиться від ТАБ. Оскільки крутний момент від первинних валів альтернативних двигунів може бути напряду переданий на колеса (окремо від кожного або сумарний), ККД такого гібрида вище, а енерговитрати – нижче. Однак, з позицій паливо-екологічних показників ДВЗ, паралельна схема поступається послідовній (ДВЗ не може весь час працювати в економічному режимі). Додамо, що в окремих композиціях паралельної схеми, електродвигун може розташовуватися безпосередньо на колінчастому валу ДВЗ або підключатися до трансмісії окремим зчепленням або муфтою.

Послідовно-паралельна композиція поєднує у собі переваги обох вищезгаданих схем. Залежно від умов руху, автомобіль може рухатися або тільки на електротязі, або тільки на ДВЗ, або рушійну енергію колеса можуть отримувати і від ДВЗ, і від електродвигуна на різні осі колес. Електроенергія, яка виробляється в рекуперативному режимі машиною М/Г поступає на підзарядку ТАБ (рис. 3.21, в). Для такої схеми не потрібна специфічна трансмісія, але унеможливується зарядження ТАБ від ДВЗ.

Комбінований гібрид застосовується і в повнопривідних моделях. При цьому, колеса передньої осі приводяться в дію комбінованим приводом, як у передньопривідних моделей, а для приводу коліс задньої осі використовується окремий тяговий електродвигун. У композиції змішаного гібрида Toyota Prius немає традиційної КПП. Розподіл крутного моменту здійснюють планетарні передачі у складі гібридної коробки передач (ГКП) [41].

Більш ретельно розглянемо функціональну структуру електричної частини ГСУ з однією оборотною електричною машиною інтегрованою у ГКП. Центральним блоком системи керування такої ГСУ є контролер кола високої напруги (КВН). Контролер здійснює розподіл потужності по силових агрегатах установки, забезпечуючи оптимальне використання потужності електроприводу та ДВЗ для утворення необхідного обертаючого моменту на колесах автомобіля під час його прискорення та рекуперації енергії при гальмуванні.

Електромеханічна частина силової установки складається з гібридної коробки передач (ГКП), блоку перетворювачів напруги (БПН) та блоку високовольтної батареї БВБ (рис. 3.22).

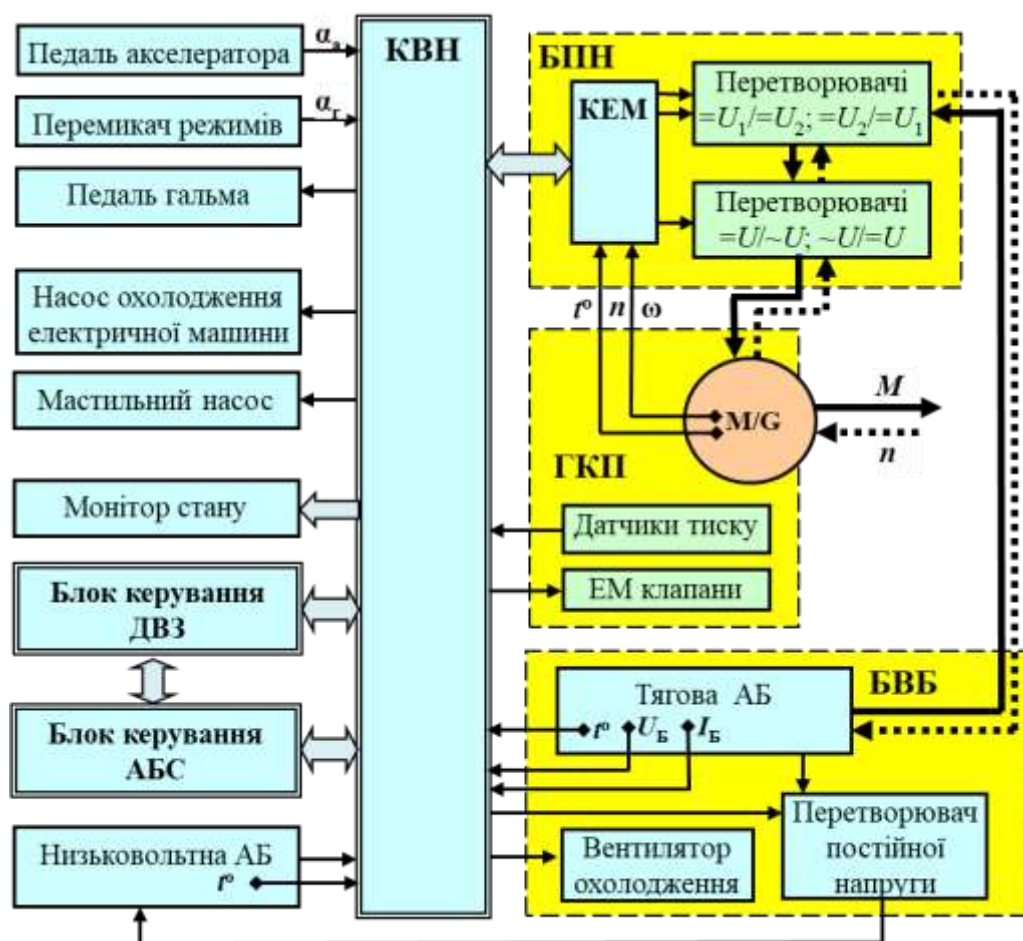


Рис. 3.22. Схема електрична структурна системи керування ГСУ

Гібридна коробка передач являє електромеханічну трансмісію потужності подвійної дії з електрогідравлічним керуванням її механічної частини. Вентильна машина, яка входить до складу ГКП функціонує в режимах (статусах) двигуна «М» або генератора «G» залежно від дій водія та дорожньої ситуації.

В статусі «М» електрична потужність, що підводиться до електродвигуна від ТАБ перетворюється в БПН за допомогою DC/DC перетворювача підвищеної напруги ($=U_1/U_2$) та трьох-фазного інвертора ($=U/\sim U$). При цьому, робочі режими перетворювачів напруги (рівень напруги, значення струму і частота комутації інвертора) та відповідно і електродвигуна (обертовий момент і частота обертання) визначаються на підставі сигналів датчиків положення педалі аксе-

лератора α_a та кутового положення валу машини ω , які надходять в контролер електричної машини КЕМ.

Під час рекуперації енергії в режимі «G» відбувається зворотне перетворення механічної потужності обертання ротору електричного генератора в електричну потужність зарядження ТАБ. В цьому статусі, в силовому колі ЕП задіяні – трьох-фазний випрямляч ($\sim U/U$) та DC/DC перетворювач пониженої напруги ($= U_2/U_1$). Режим зарядження ВАБ на кожному мить процесу гальмування розраховується в КВН на підставі інформації, яка надходить з датчиків системи ABS та педалі гальма α_T .

Якщо, режим руху автомобіля та дії водія зумовлюють активізацію гібридного приводу, контролер КВН визначає їздовий статус автомобіля і здійснює регулювання моментів ДВЗ і тягового електродвигуна з урахуванням рівня зарядки високовольтної батареї (напруги U_B та струму I_B у колі заряду ТАБ) і її температури t° . Різниця між потрібною потужністю руху та потужністю ДВЗ компенсується потужністю електричного двигуна.

Додатково, може використовуватись інформація про температурний стан електричної машини, інвертора і випрямляча який непрямо характеризує технічний стан цих агрегатів. При цьому, КВН керує вентилятором системи охолодження ТАБ і зарядженням низьковольтної батареї, відповідно до її температури, використовуючи перетворювач постійної напруги.

Для підвищення їздових, енергетичних та екологічних показників в автомобілях Toyota Prius застосовується ГСУ з двома електричними машинами, яка включає: ДВЗ, електричний стартер-генератор, тяговий електричний двигун, безступеневу коробку передач [42]. Сила тяги від ДВЗ розділяється на два потоки планетарним механізмом, один з вихідних валів якого пов'язаний з електричним двигуном і колесами, а інший з генератором. Обидва двигуна (або кожний окремо) обертають передні ведучі колеса через редуктор. (рис. 3.23, а).

На рис. 3.23 позначено: 1 – ДВЗ з зчепленням; 2, 3 – електричні машини MG1, MG2; 4 – сонячна шестерня; 5 – водило; 6 – коронна шестерня; 7 – ланцюгова передача на диференціал передньої осі; 8 – планетарний дільник потужності; 9 – двоступеневий планетарний понижуючий редуктор з двома гідравлічними гальмами; 10 – клапанна коробка; 11 – мастильний насос з механічним приводом; 12 – мастильний насос з електричним приводом.

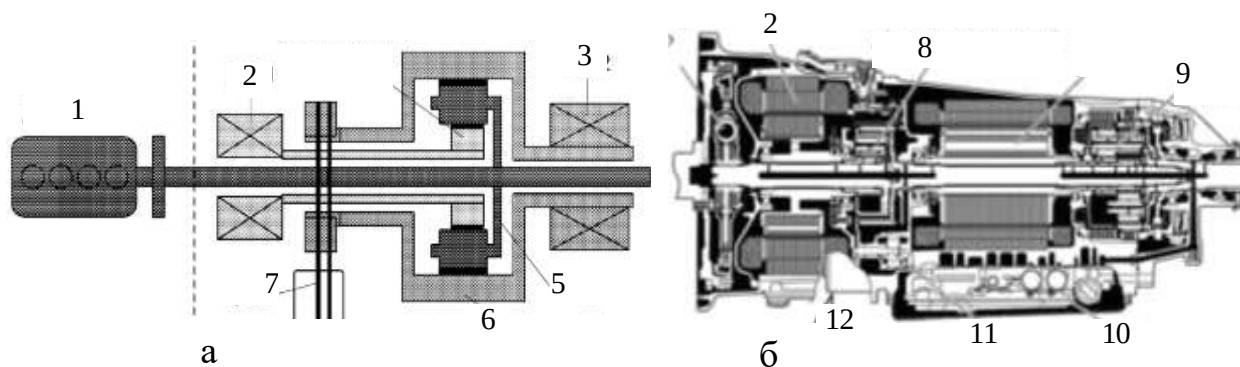


Рис. 3.23. Гібридний силовий агрегат з двома електричними машинами: а – кінематична схема приводу на передню вісь; б – устрій електромеханічної трансмісії GS450h з приводом на задню вісь

Електромагнітні клапани гідравлічної коробки керують тиском робочої рідини і перемикають магістралі, активізуючи приводи гальмівних механізмів планетарної передачі.

В трансмісії з приводом на задню вісь використовується двоступеневий планетарний редуктор з електрогідравлічним керуванням (рис. 3.23, б), який автоматично, за допомогою гальмівних пристроїв, змінює передавальне відношення підключення електричної машини MG2. Обертний момент від MG2 передається через задню сонячну шестерню на привід задніх коліс.

Тиск у гідравлічній системі АКП забезпечує масляний насос з механічним приводом. Насос з електричним приводом дублює функцію механічного при непрацюючому ДВЗ. Додатковий електронасос забезпечує циркуляцію рідини для охолодження MG1 і MG2 за заданим алгоритмом. Контроль роботи АКП здійснюється датчиками: частоти обертання вхідного валу; температури охолоджуючої рідини; тиску (спрацьовування приводів). Перемикач режимів (селектор) дозволяє обрати один з режимів керування коробкою передач: PWR (Power – динамічний), Hybrid (гібридний нормальний), або SNOW (гібридний зимовий).

Призначення та функціонування інших компонентів системи керування ГСУ аналогічно системі з однією машиною (див. рис. 3.22). Алгоритм розподілу потужності по силових агрегатах ГСУ будується для системи з двома оборотними електричними машинами у відповідності до їх статусів в експлуатаційних режимах.

Алгоритм тягового контролю узгоджує силу тяги автомобіля, яка складається з сили тяги від ДВЗ і потужності тягового електричного двигуна. Чим менше швидкість автомобіля, тим більше задіяна

рушійна сила від електричного двигуна. Алгоритм рекуперативного гальмування координує діями системи рекуперації і гідравлічного гальма. При цьому, переважно використовується рекуперативне гальмування.

Алгоритм функціонування розподільника потужності ГСУ в транспортних режимах полягає в наступному. Автомобіль вирушає з місця за рахунок тяги електричного двигуна MG2. Якщо заряду ТАБ для цього не вистачає, то включається стартер MG1, який запускає ДВЗ. При цьому, MG1 в режимі генератора здійснює заряд ТАБ.

В стаціонарному режимі руху, тягове зусилля від ДВЗ передається через планетарні механізми частково на привід коліс, частково на MG1 для генерації енергії живлення двигуна MG2 і створення додаткового тягового зусилля. Під час прискорення, поряд з потужністю ДВЗ, ТАБ віддає енергію на MG2 для отримання додаткового тягового зусилля.

При гальмуванні під ухил, ДВЗ вимикається, кінетична енергія автомобіля через MG2 рекуперується для заряду ТАБ. Для руху заднім ходом використовується двигун MG2.

Таким чином, електрична машина MG1 в режимі генератора приводиться в дію ДВЗ, при цьому виробляється електрична потужність, призначена для зарядження ТАБ і для живлення тягового електричного двигуна MG2 у складі гібридної трансмісії. Електрична машина MG1 в режимі двигуна використовується як стартер під напругою 650 В для пуску ДВЗ. Електрична машина MG2 в режимі двигуна служить джерелом допоміжного моменту ДВЗ в гібридній силовій установці, що сприяє досягненню автомобілем високих динамічних якостей, включаючи плавність руху і прискорення. В режимі генератора електрична машина MG2 працює у складі рекуперативного гальма.

В силовій установці THS II основними компонентами перетворювачів постійної напруги є інтегрований силовий модуль (IPM) з транзисторами комбінованої структури (IGBT-транзистори) VT1, VT2, які по чергову функціонують в режимі комутатора струму з певними частотами перемикання [42] (рис. 3.24).

Обидві машини MG1 і MG2 підключені через ідентичні схеми інверторів та випрямлячів. Контролер КВН отримує команди з органів керування (ДПА, ДЧО та інш.) та контролює режими електричних машин (КЕМ) та заряду низьковольтної батареї НАБ.

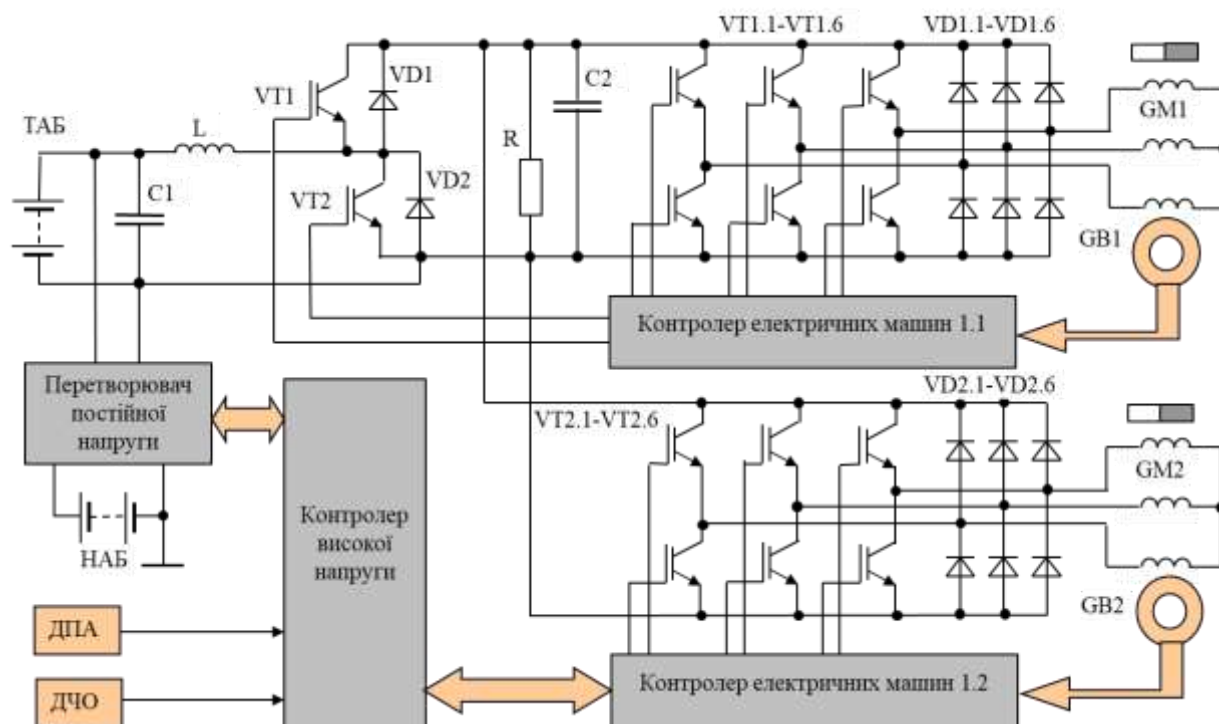


Рис. 3.24. Схема силових кіл електричного приводу ГСУ з двома електричними машинами

В режимі підвищення постійної напруги, комутація стуму (VT2) в реакторі L під напругою ТАБ 288 В приводить до індукування на колекторі VT1 імпульсів напруги подвійної амплітуди. Конденсатор C2, при цьому, заряджається до амплітудного рівня та підтримує постійну напругу 650 В на виході перетворювача.

В режимі зниження постійної напруги, комутація стуму (VT1) під випрямленою напругою генератора 650 В викликає індуктивний опір реактора L та зниження середнього значення струму через транзистор VT1 який заряджає ТАБ. Конденсатор C1, при цьому, заряджається до рівня постійної напруги 288 В на клеммах ТАБ.

По інформаційній шині від контролера КВН на контролер КЕМ надходить інформація про енергетичний стан джерел напруги (зарядженість ТАБ, частота обертання генератора) та потрібний режим руху (положення педалі акселератора та селектора режимів). З КЕМ по сигнальним колам надходять відповідні імпульси керування ключами перетворювачів постійної напруги та інверторів.

Задні колеса і електрична машина MG2 зв'язані карданим валом і не розділені зчепленням. Щоб припинити передачу моменту на задні колеса при нейтральному положенні селектора, вимикаються

всі силові транзистори, які керують роботою електричних машин. В результаті, MG1 і MG2 не спричиняють реакції на трансмісію.

Аналізуючи функціонування ГСУ в транспортних режимах, можна упорядкувати агрегати, що утворюють ланцюг передачі енергії в транспортних режимах функціонування ГСУ (рис. 3.25).

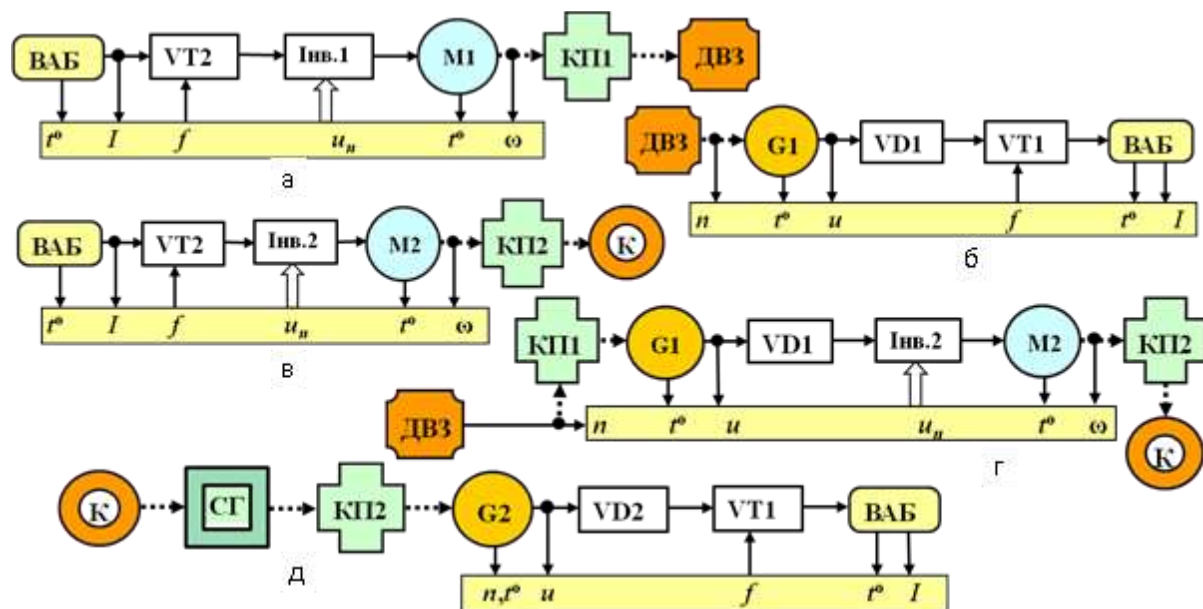


Рис. 3.25. Схеми ланцюгів передачі потужності ГСУ:

а – пуск ДВЗ; б – зарядження ВАБ від ДВЗ; в – електропривод; г – послідовна робота ДВЗ та електричного двигуна; д – рекупераційне зарядження ВАБ

На схемах рис. 3.25 позначено механічні ланки передачі потужності: К – колесо, СГ – система гальмування, КП1/КП2 – трансмісія, яка понижує/підвищує. Електричні ланки: ВАБ – високовольтна тягова АКБ; VT – ключі перетворювачів постійної напруги, VD – випрямлячі; «Інв.» – інвертори. У вимірювальні кола контролерів КВН та КЕМ надходить інформація від елементів силового кола: n – частота обертання; t_0 – температура агрегатів; u_n – імпульси керування інверторами; u – вихідна напруга; f – частота керуючих імпульсів; I – середнє значення струму у колі заряду батареї; ω – кутове положення роторів електричних машин. Додатково може використовуватись інформація про температурний стан інверторів і випрямлячів, яка непрямо характеризує технічний стан цих елементів.

3.6. Використання пневматичного приводу

Машина на стисненому повітрі набагато дешевше своїх чисто електричних або водневих суперників. При цьому, балони з повітрям

мають більший експлуатаційний ресурс, ніж хімічні акумулятори електрики.

До переваг пневматичного приводу можна додати [43]:

- екологічність (немає шкідливих викидів, і не спалюється кисень);
- низька вартість приводу і «палива»;
- можливість заправки автомобіля в домашніх умовах;
- можливість застосування рекуператора енергії.

Основною експлуатаційною перевагою пневмодвигуна (ПНД) є отримання максимального моменту і ККД при рушанні (відсутність витрати повітря). У міру розгону ці показники значно знижуються.

До недоліків пневматичного приводу слід віднести:

- низький ККД (5...7%) в порівнянні з ДВЗ (18...20%);
- необхідність в зовнішньому теплообміннику;
- низькі їздові показники пневмомобілей (запас ходу, потужність);
- низька щільність енергії (питома енергоємність).

Для порівняння, повітря при тиску 30 МПа має щільність енергії 50 кВт*год на літр, а звичайний бензин – 9411 кВт*год на літр. Тобто, бензин як паливо ефективніше майже у 200 разів.

Конструкції більшості пневматичних машин здатні працювати і в режимі двигуна і в режимі компресора. Такі оборотні машини прийнято називати пневмоагрегати (ПНА). Пневматичні двигуни розрізняють за загальними класифікаційними ознаками:

- принципом дії (об'ємні, турбінні, лопатеві);
- характером руху виконавчого органу (роторні та лінійні);
- області застосування (загального призначення, автомобільні допоміжні приводи, автомобільні тягові двигуни).

В об'ємних пневмодвигунах, механічна робота здійснюється в результаті розширення стисненого повітря в обмеженому об'ємі циліндра машини (використовується потенційна енергія стисненого повітря). У турбінних пневмодвигунах потік повітря впливає на лопатки турбіни (використовується кінетична енергія). У лопатевих конструкціях роторних ПНД в силу часткового перекриття об'єму порожнини відбувається комбіноване перетворення енергії стисненого повітря.

Роторні ПНД можуть мати лопатеву або турбінну конструкцію ротора (пневмостартери). Лінійні ПНД розрізняються за схемою бу-

дови. У поршневій схемі будови головним робочим органом пневмодвигуна є поршень, до якого прикріплений шток, навколо штока навіта повертаюча пружина. Повітря, що надходить в камеру під тиском, долає опір пружини і переміщує поршень. На фазі випуску, коли тиск повітря падає, пружина повертає поршень у вихідне положення і цикл повторюється. Для повернення поршня у початкове положення, замість пружини може використовуватися інерційна маса маховика і колінчастого валу (як у ДВЗ). Найпростіший конвертований пневмодвигун з кульковим клапаном 1 здатний функціонувати без традиційного ГРМ (рис. 3.26).

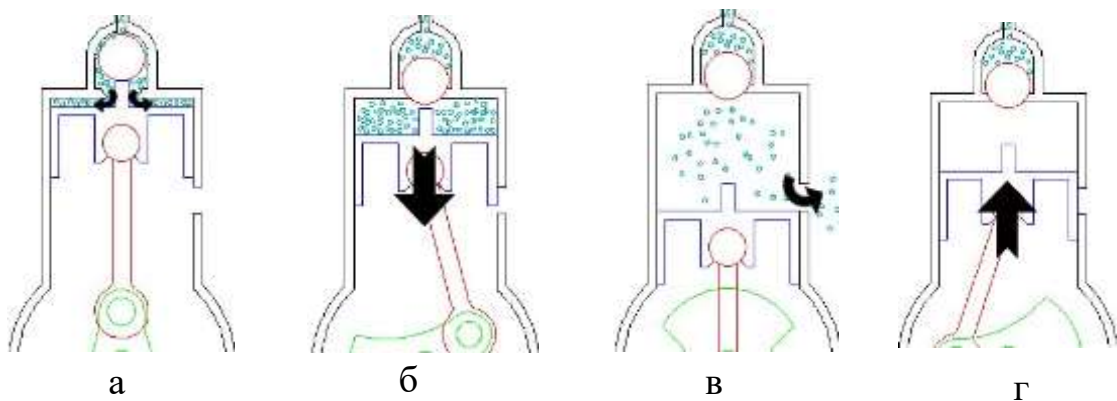


Рис. 3.26. **Робочий цикл поршневого пневмодвигуна:** а – подача стисненого повітря; б – робочий хід; в – випуск повітря; г – неробочий хід

У мембранній схемі роль поршня виконує еластична мембрана, до якої також прикріплений шток з пружиною. Її переваги: не потрібна висока точність посадки рухомих елементів, не потрібні мастильні матеріали, підвищена герметичність робочої камери. Ступінь еластичності мембрани визначає хід штока. Для перетворення поступального руху штока в обертання ведучого валу в поршневих і мембранних схемах використовується кривошипно-шатунний механізм (КШМ).

Пневматичні двигуни загального призначення, так само як і компресори знайшли широке застосування в інструментарії. На автомобілях допоміжні пневмоагрегати використовуються у якості компресорів і пневматичних приводів різного призначення. Автомобільні тягові двигуни представлені оригінальними і конвертованими конструкціями [44].

Роторний лопатний ПНД оригінальної конструкції, створений австралійським винахідником Анджело Ді П'єтро в кінці семидесятих

років. У корпусі агрегату обертається кільце, яке всередині спирається на спеціальні ролики, закріплені на валу. За розподілом повітря по камерах, утворених пелюстками, відповідає спеціальна система. Таким чином, змінюючи свій об'єм, камери обертають ротор, який у свою чергу передає зусилля на колеса (рис. 3.27).

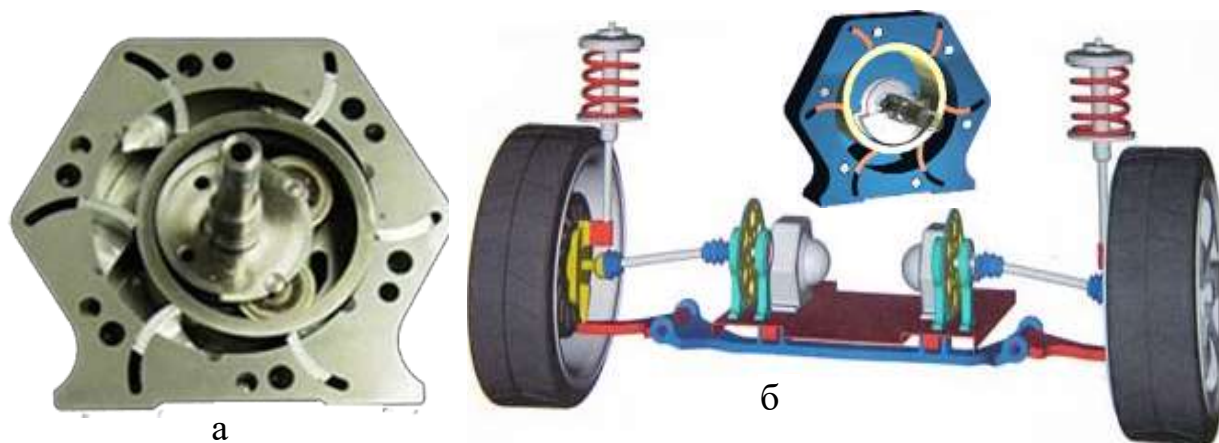


Рис. 3.27. Пневмодвигун Анджело Ді П'єтро:
а – конструкція двигуна; б – устрій силової підвіски

Двигун Ді П'єтро має ряд переваг:

- мала вага і простота конструкції;
- можливість установки безпосередньо на колеса;
- максимальний крутний момент на низьких обертах.

Завдяки означеним перевагам, у пневмомобілях, побудованих на базі двигуна Ді П'єтро, практично відпадає необхідність в трансмісії.

Поршневий об'ємний ПНД оригінальної конструкції Гая Негре, побудований за схемою симетричного поршневого V-образного двигуна з розвалом циліндрів 180° . На відміну від традиційної конструкції, кожен циліндр має дві поршневі камери – малого (компресійну) 1 і великого (декомпресійну) 2 перетину, які з'єднані через сферичну камеру 3 (рис. 3.28, а).

Початковий проект компанії MDI (Motor Development Internation) з двигуном Негре міг працювати не тільки на стислому повітрі, але також на природному газі, бензині і дизелі. У стандартному бензиновому двигуні всі чотири такту: впуск, стиснення, робочий хід і випуск здійснюються в кожному з циліндрів, а в двигуні Негре такти розподіляються між парою циліндрів.

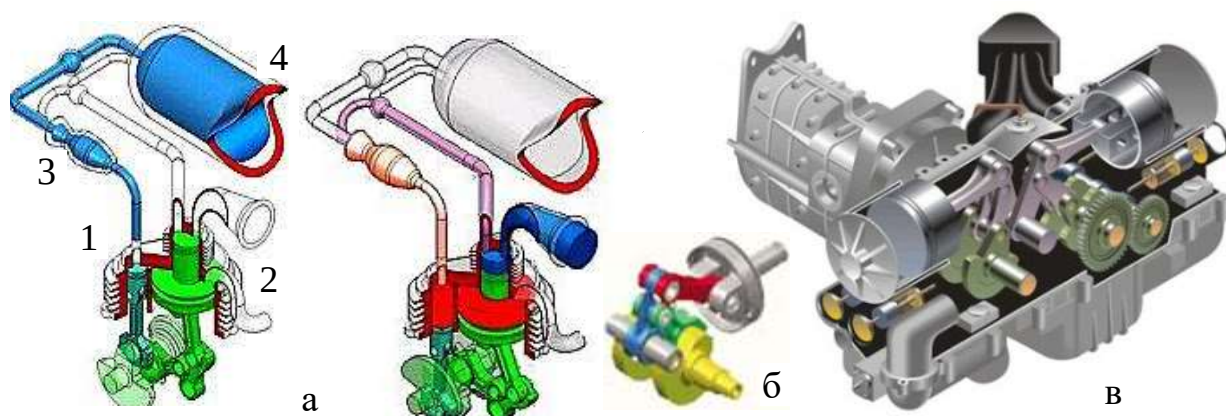


Рис. 3.28. Пневмодвигун Гая Негре:

а – схема роботи; б – оригінальний КШМ; в – конструкція двигуна

У компресійному циліндрі відбувається впуск і стиск повітря, в декомпресійному – робочий хід і вихлоп.

Принцип роботи пневматичного двигуна MDI наступний. У малій циліндр всмоктується повітря, де воно стискається поршнем до тиску 18...20 бар з адіабатичним розігрівом. Далі, підігріте повітря надходить в сферичну камеру 3, де змішується з холодним повітрям з балонів 4. Утворена суміш розширюючись, збільшує тиск на поршень великого циліндра, який передає зусилля на колінчастий вал.

У конструкції пневмодвигуна MDI (рис. 3.28, в) застосований оригінальний КШМ (рис. 3.28, б), який дозволяє поршню проходити верхню мертву точку із затримкою і подальшим прискоренням руху вниз при рівномірному обертанні колінчастого валу. Така нелінійність забезпечує більш ефективне наповнення циліндра повітрям і використання енергії при його розширенні.

Пневматичний двигун для автомобіля, розроблений Миколою Пустинським в кінці вісімдесятих років представляє конвертований ДВЗ з допрацьованим механізмом газорозподілу ГРМ (рис. 3.29).

Стиснене повітря з балона 4 під тиском 300 бар через поршне-вий розподільник 2 подається по черзі на впускні клапани циліндрів. Порція стисненого повітря, потрапляючи в циліндр з відкритим впускним клапаном, розширюється і штовхає поршень. Кулачки штовхачів клапанів ГРМ і привід розподільника тиску фазовані таким чином, щоб забезпечити робочий процес та виключити вакуумну протидію при русі поршня вниз. Відпрацьоване повітря виходить назовні через випускні клапани.

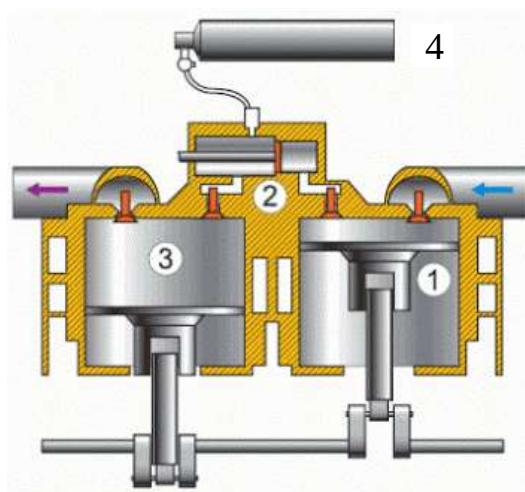


Рис. 3.29. Устрій пневмодвигуна Пустинського:

1, 3 – камери циліндрів; 2 – розподільник тиску; 4 – балон високого тиску

Концептуальний варіант пневмотрансмісії на базі двоциліндрового *конвертованого ДВЗ з електроклапанами ГРМ*, запропонований розробниками ХНАДУ (рис. 3.30).

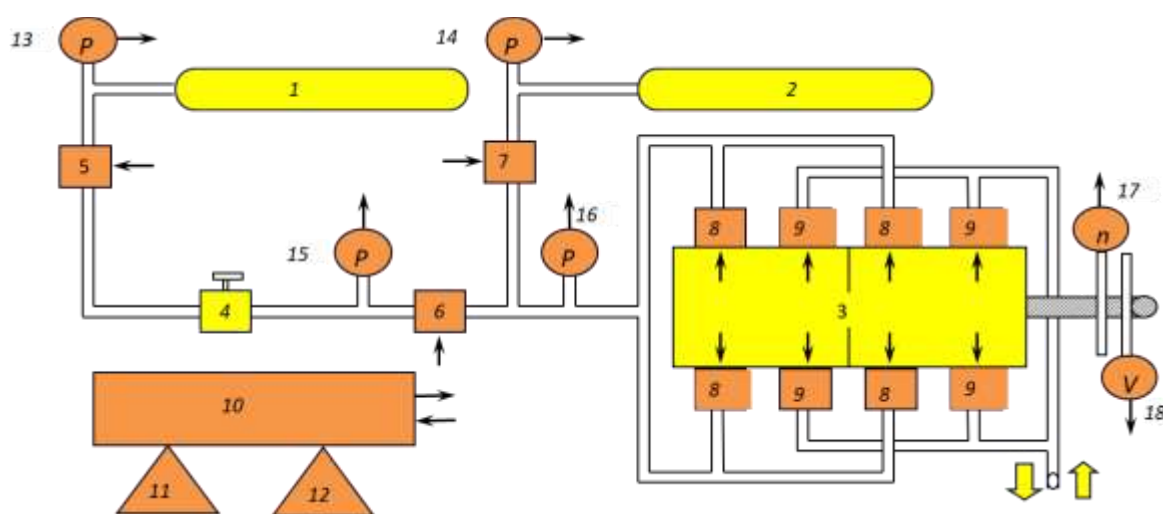


Рис. 3.30. Схема пневмотрансмісії:

1 – балон високого тиску; 2 – пневмоакумулятор; 3 – пневмоагрегат;
4 – редуктор тиску; 5, 7 – електроклапани відсічки; 6 – керований модулятор
тиску; 8, 9 – впускні та випускні клапани ГРМ; 10 – ЕБК; 11, 12 – педалі газу та
гальма; 13...16 – датчики тиску; 17 – датчик положення колінчастого валу;
18 – датчик швидкості руху автомобіля

Електричний модулятор тиску 6 регулює робочий тиск та, відповідно, потужність і частоту обертання ПНД. Система напівавтоматичного регулювання тиску має від'ємній зворотній зв'язок через си-

гнал датчика 16. На виході ЕБК формуються сигнали керування виконавчими пристроями 5...9, які здійснюють керуючі впливи на трансмісію. Електронна педаль гальма 12 формує сигнал для активізації процесу рекуперації тиску у пневмоакумуляторі 2.

Для прикладу, наведемо характеристики пневматичного транспорту промислових розробок різного призначення (рис. 3.31).



Рис. 3.31. Пневматичний транспорт:

а – мотоцикл O2 Pursuit; б – триколісний Air Pod; в – вантажний Multicar

В мотоциклі O2 Pursuit застосований двигун за схемою Ді Пьетро вагою 11 кг. Подача повітря здійснюється від водолазного балона. Запас ходу на одній заправці до 100 км, максимальна швидкість до 140 км/год.

Двох місцевий Air Pod вагою 220 кг оснащений 5,45-сильним пневмодвигуном за схемою Негре, здатний розігнатися до 75 км/год. Має запас ходу до 200 км. Керування машиною здійснюється за допомогою джойстика.

Вантажний одномісний Multicar розвиває швидкість до 100 км/год. Однієї заправки вистачає на 200 км. Здатний перевозити до 300 кг вантажу, порівнянним з власною вагою в 210 кг. В машинах такого класу початковий тиск в балонах становить 300 бар. Заправка може здійснюватися від компресорної станції або від розетки. При цьому електрогенератор, встановлений на пневмодвигун, переходить в режим електромотора, а сам пневмоагрегат в режим компресора.

В силу малої питомої енергоємності пневмомобілі знайшли своє застосування у якості транспортувальників у межах підприємства і аеродромів та міського транспорту комунального призначення.

Слід також зазначити, що силові установки для руху автомобіля на енергії стисненого повітря за принципом дії можуть представляти чисто пневматичні або пневмогідравлічні системи. У другому випад-

ку, як передавальна ланка в системі, використовується гідравлічний агрегат. Таке рішення, дозволяє усунути втрати енергії тиску на витoki і паразитні порожнини трубопроводів і тим самим підвищити ККД приводу.

3.7. Композиції пневматичних гібридних силових установок

Під композицією ГСУ розуміють якісний склад приводу і схему передачі потужності джерел енергії на колеса транспортного засобу. У загальному випадку ГСУ з пневмоприводом крім ДВЗ може включати різні силові агрегати:

- пневматичний агрегат (ПНА), що функціонує в режимах двигуна і компресора;
- пневматичний акумулятор низького тиску (ПАК);
- пневматичний балон високого тиску (ПНБ);
- теплообмінник (ТОБ);
- електричну машину в режимах двигуна і генератора (ЕЛМ);
- тягову акумуляторну батарею (ТАБ).

Енергетичний обмін між перерахованими агрегатами ГСУ можна надати у вигляді узагальненої структури (рис. 3.32, а).

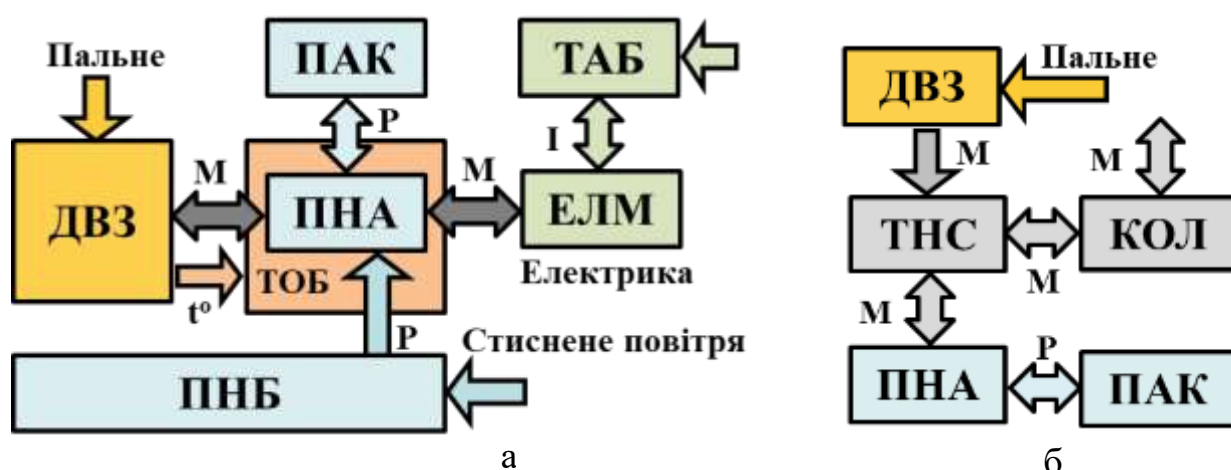


Рис. 3.32. Структура енергообміну в ГСУ з пневмоагрегатами:
а – узагальнена; б – з рекуперативною пневматичною системою

Потужність, що розподіляється між силовими агрегатами, має різну природу енергії, яка параметрується температурою t^0 , струмом I , тиском P . Потужність, що передається механічним шляхом при заданій частоті обертання n , визначається крутним моментом M . Дво-направлені стрілки на схемах рис. 3.32 вказують на можливість ре-

лізації систем рекуперації енергії. Таким чином, з позицій автономності руху, гібриди з пневмоприводом, за аналогією з електричними гібридами можна поділити на ті, що заряджаються із-зовні, рекуперативні і комбіновані системи. Згідно узагальненій структурі можна побудувати різні композиції ГСУ із застосуванням ПНА, де альтернативним двигунам відводиться роль основного або допоміжного силового агрегату. Ступінь використання двигуна зазвичай оцінюють кількістю енергії, що витрачається в їздовому циклі. При цьому, розглядають різні процентні показники: потужність, що розвивається двигуном; ресурс пробігу в заданому режимі; кількість і вартість витраченого енергоносія.

Рациональність використання тієї чи іншої композиції ГСУ визначається умовами експлуатації і режимами руху транспортного засобу. Так, наприклад, електропневматична композиція, на перший погляд є не раціональною. Але якщо згадати, що в режимі рухання під навантаженням, електричний привід характеризується значними пусковими струмами (витратою електроенергії), а пневматичний, навпаки, – мінімальною витратою тиску, то для заданого режиму, така композиція має право на обговорення. При цьому, треба розуміти, що електропривод, який заряджається із-зовні, виступає як основний, а рекуперативний пневматичний, – як допоміжний.

Трикомпонентна ГСУ також може розглядатися, як двоступенева пневматична система пуску потужного ДВЗ, в якій попередня компресія тиску в ПАК здійснюється за рахунок енергії електроприводу.

Відомо, що стиснене повітря при розрядженні, знижує температуру свого стану, а охолодження газу в замкнутому просторі приводить до зниження його тиску. Щоб зберегти питому енергоємність термодинамічної системи (знижити втрати на охолодження) пневмоприводу в ГСУ, використовують побічну теплову енергію ДВЗ. Провідником теплової енергії ДВЗ може виступати або рідина системи охолодження двигуна, або відпрацьовані гази. Крім того, як потенційні джерела тепла, можна розглядати охолоджуючі системи агрегатів трансмісії (КПП), електричних машин і ТАБ. Таким чином, використання теплообмінника ТОБ в системі пневмопривода дозволяє підвищити енергоресурс ГСУ в цілому і знизити градієнтні температурні навантаження її елементів.

Слід зазначити, що застосування ТОБ виправдано для пневматичних систем, які працюють у видатковому режимі під значним тиском (від балонів високого тиску), що характерно для гібридів, які заряджаються із-зовні.

Можна розглядати окрему структуру ГСУ з пневматичним приводом, в якій використовується рекуперативне поповнення енергії стисненого повітря від коліс КОЛ через керовану трансмісію ТНС (рис. 3.32, б). Система такого автономного заряду ПАК є доцільною для забезпечення початку рушання і розгону транспортного засобу.

Для пневмогібридів з ДВЗ ЕНРV (Engine Hybrid Pneumatic Vehicle) прийнято розглядати три схеми передачі потужності від агрегатів силової установки до коліс автомобіля.

У *послідовній схемі* ЕНРV навантаженням ДВЗ виступає компресор. При цьому, обирається найбільш економічний режим роботи ДВЗ. Стиснене повітря від компресора надходить у балон и далі через редуктор на ПНД и колеса автомобіля. При гальмуванні, компресор приводиться в дію від коліс автомобіля, забезпечуючи акумуляцію кінетичної енергії. Перевагами такої схеми є: відносна простота керування силовою установкою, відсутність спеціальних вузлів трансмісії, можливість використання ДВЗ малої потужності в економічних режимах. Недолік такого варіанта – малий ККД.

У *паралельній схемі* ЕНРV, ДВЗ и ПНД, який працює від балонів високого тиску, пов'язані з повідними колесами через трансмісію. При рекуперативному гальмуванні ПНД працює в режимі компресора й забезпечує зарядження повітря в ресивер. Така конфігурація забезпечує більший ККД. Недоліками такого варіанта є: ускладнення трансмісії й системи керування, більш широкий діапазон робочих режимів ДВЗ, необхідність заправлення балонів високого тиску від зовнішніх компресорів.

У *змішаній схемі* ЕНРV привід повідних коліс може здійснюватися від допоміжного ПНД, від основного ДВЗ, або від ПНД й ДВЗ, включених паралельно. Ключовим елементом ГСУ є розподільник потужності, який забезпечує перерозподіл потоків потужності між ходовою частиною автомобіля, основним двигуном, допоміжним двигуном и контуром рекуперації енергії.

Розглянемо кілька прикладів пневматичних ГСУ, які запропоновані провідними виробниками в цьому напрямку, у якості промислових зразків, діючих концептів і технічних рішень.

Французька компанія PSA Peugeot Citroen представила пневмо-гібрид EHPV, виконаний за змішаною схемою (технологія Hybrid Air). У ГСУ використана композиція з бензинового ДВЗ, гідромотора, гідроциліндра, пневматичного насоса і балона для стисненого повітря [45]. Така технологія застосована в ГСУ автомобілів Citroen C4 Cactus Airflow 2L.

Аналогічна композиція застосована в Peugeot 2008 Hybrid Air 2L, в якій гідравлічний агрегат з'єднаний з ДВЗ через планетарну передачу [46]. Для запасу і рекуперації енергії використовуються два балони для стисненого повітря – низького тиску системи рекуперації (гідроаккумулятор з пневматичним підпором) 1 і високого тиску для зовнішньої зарядки 2 (рис. 3.33, а).

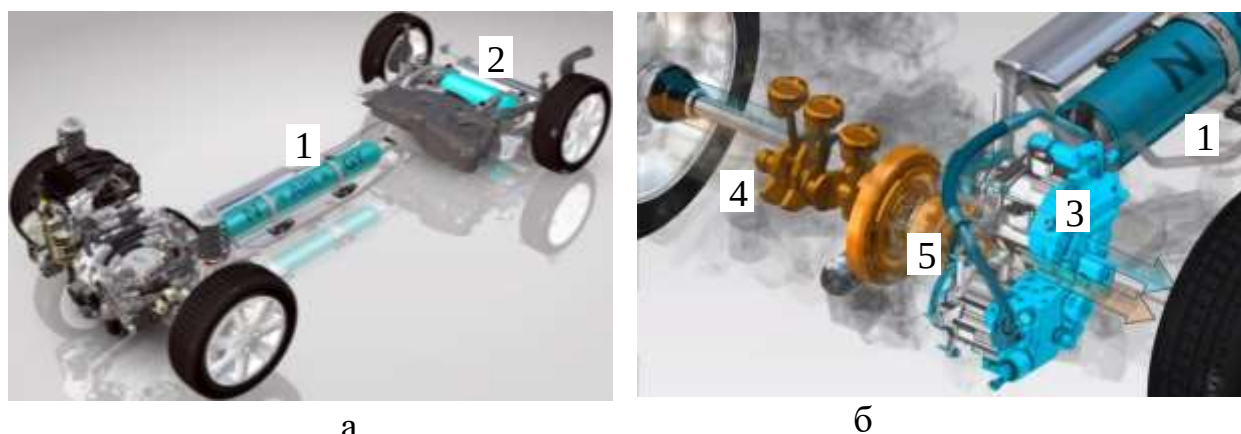


Рис.3.33. Гібридна силова установка за технологією Hybrid Air:
а – компоновка силових агрегатів; б – устрій гібридного привода

Гідравлічний агрегат 3 в режимі насоса, приводиться в дію або від ДВЗ 4, або від трансмісії при уповільненні і гальмуванні автомобіля, забезпечуючи набір тиску повітря в рекуперативному балоні 1. У режимі двигуна гідроагрегат під тиском рідини обертає передні колеса автомобіля через планетарну передачу 5, розташовану в АКП (рис. 3.33, б). Повністю заряджені балони забезпечують запас ходу в кілька кілометрів на швидкості до 70 км/год. На повному баку і повній заправці повітрям, пробіг гібрида становить 1300 км. Вага агрегатів пневматичної трансмісії не перевищує 100 кг. Гібридна установка забезпечує економію палива до 45 %.

Електропневматичні гібриди отримали назву PHEV (Pneumatic-Hybrid Electric Vehicle) [47]. Гібридна установка на базі чотирицилі-

гидравлического пневмодвигуна Негре встановлюється компанією MDI на автомобілі серії CAT's (рис. 3.34, а).

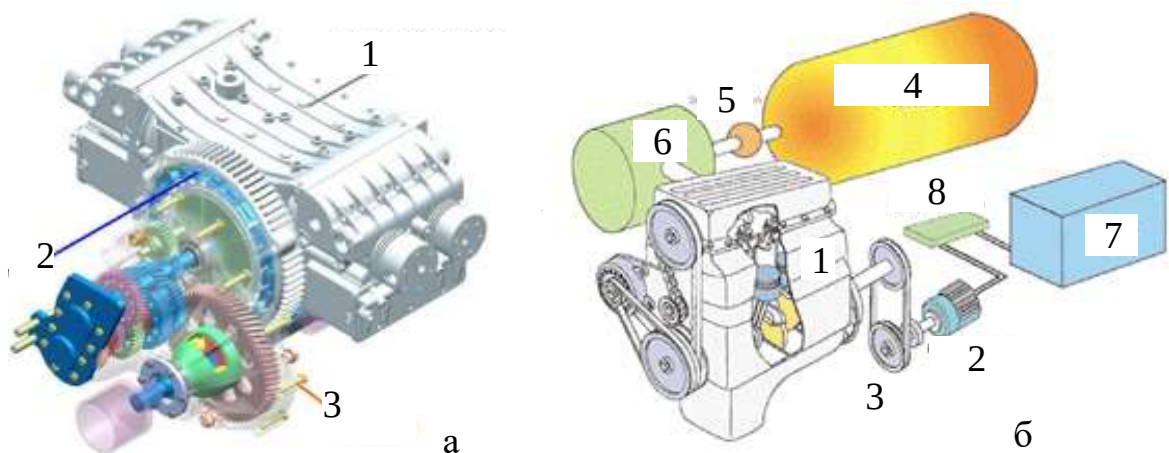


Рис. 3.34. Електропневматичні приводи автомобілів:
а – машин CAT's; б – фірми Energene

Композиція ГСУ включає оборотний пневматичний агрегат 1, оборотну електричну машину 2 і трансмісію 3 та забезпечує оборотні взаємодії в автоматичному режимі.

Фірма Energene з Південної Кореї розробляє автомобіль з електропневматичним приводом (рис. 3.34, б). У цій машині два двигуна: пневматичний конвертований поршневий 1 і електричний 2. Пневматична енергія в системах PHEV забезпечується балоном високого тиску 4 (300 бар), редуктором 5, ресивером 6 (10 бар). Для електричної тяги використовується ТАБ 7 з контролером 8.

При русі автомобіля з постійною швидкістю понад 20 км/год. основним є електричний двигун. Однак рушає, набирає швидкість і долає підйоми автомобіль на пневматичній тязі. Такий дорожній цикл, дозволяє використовувати основні переваги обох типів двигунів і згладити їх недоліки. Так, високий стартовий момент і велика потужність на валу пневмодвигуна чудово доповнюється відносно низьким споживанням енергії (в даному випадку, запасеної в ПАК).

В ході випробувань гібрида PHEV фірми Energene на пневматичній тязі здійснений розгін і підтримка максимальної швидкості 120 км/год. протягом години. Маса автомобіля складає 1260 кг, з яких на алюмінієвий корпус припадають 400 кг, обидва двигуни (пневматичний і електричний) важать по 30 кг кожен, а ще 40 кг ва-

жить 100-літровий повітряний балон. У машині застосовані Ni-MH батареї, робоча напруга яких близько 280 В.

Схема послідовної ГСУ (концепт) з малопотужним ДВЗ і лопатевим ПНД, в якій теплова енергія палива перетворюється в акумульовану енергію стисненого повітря [48], показана на рис. 3.35.

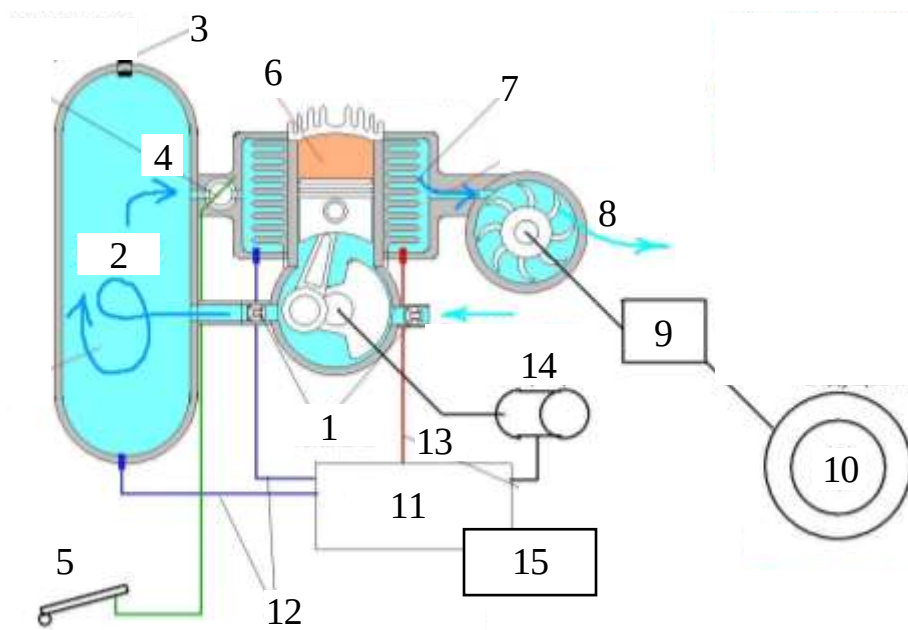


Рис.3.35. Схема мехатронної системи послідовної ГСУ:

- 1 – жиклери; 2 – ресивер; 3 – запобіжний клапан; 4 – регулятор потужності пневмодвигун; 5 – педаль акселератора; 6 – камера згорання ДВЗ;
7 – теплообмінник; 8 – пневмодвигун; 9 – редуктор; 10 – повідне колесо;
11 – ЕБК ГСУ; 12 – датчики тиску; 13 – датчик температури; 14 – стартер;
15 – ЕБК ДВЗ

Підкачка тиску повітря в балон 2 до 20 атм відбувається за рахунок картерної компресії ДВЗ, створюваної поршнем при тиску в робочому такті циліндра 6 близько 40 атм. Повітряний заряд, проходячи через охолоджуючу порожнину ДВЗ 7 збільшує тиск під дією температури до 30 атм. і надходить на вхід пневмодвигуна 8. Ротор останнього передає крутний момент через понижуючий редуктор 9 на повідні колеса автомобіля 10.

Швидкість руху автомобіля змінюється за рахунок електрично керованого пневматичного дроселя 4 під керуванням педалі газу 5. Електронний блок 11 контролює тиск 12 і температуру повітря 13 в балоні 2 і теплообміннику ДВЗ та подає команди на запуск ДВЗ від електростартера 14. При цьому, періодична підкачка тиску прово-

диться при оптимальних обертах ДВЗ (залежно від показань датчиків тиску і температури).

Пневмодвигун не гальмує при їзді накатом. Витрата палива ДВЗ на обертах 2000 хв^{-1} для підкачки повітря 800 л/хв, ставить 0,5 л. Витрата повітря для підтримки крутного моменту 360 Нм при частоті обертання 6000 хв^{-1} , становить 400 л/хв.

Розглянемо альтернативні варіанти гібридного приводу, де у якості пневмоагрегата використовується конвертований ДВЗ з електроклапанами ГРМ. Одним з таких варіантів є система з компенсацією втрат тиску повітря за рахунок теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ. Така пневмотрансмісія ГСУ складається з балона зі стисненим повітрям, пневмомагістралі, теплообмінника, пневмоагрегата, пневмоаккумулятора, механізму зчеплення механічної передачі обертаючого моменту на колеса автомобіля (рис. 3.36).

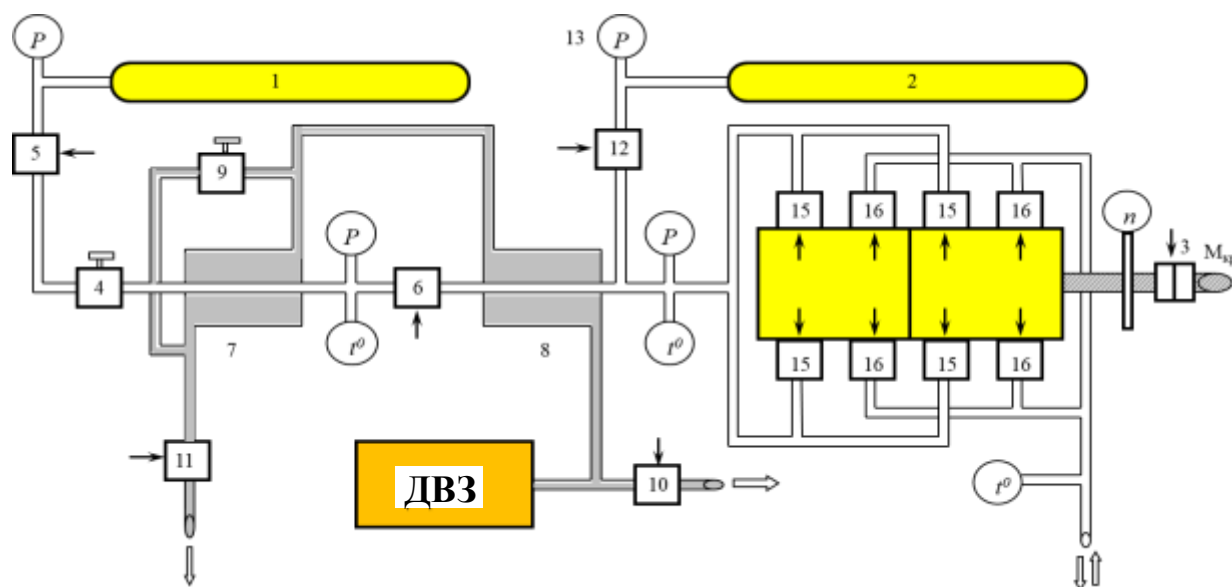


Рис. 3.36. Схема пневмотрансмісії ГСУ з теплообмінником:

1 – балон високого тиску; 2 – пневмоаккумулятор; 3 – механізм зчеплення; 4, 9 – редуктори тиску; 5, 12 – електроклапани; 6 – керований модулятор тиску; 7, 8 – секції попереднього й залишкового підігріву повітря; 10, 11 – керовані заслінки; 13 – датчик тиску; 14 – пневмоагрегат; 15, 16 – впускні та випускні електричні клапани ГРМ

На рисунку суцільними стрілками показано керуючі впливи, широкими – потоки газу. Модулятор тиску 6 з двома електричними клапанами забезпечує керування частотою обертання пневмодвигуна. Теплообмінник компенсує енергію, втрачену при розширенні стисненого повітря. Електричні заслінки 10, 11 регулюють ступінь нагрі-

вання повітря в системі відводу відпрацьованих газів. Пневмоагрегат функціонує в режимі двигуна (привід) або компресора (рекуперація). Механізм зчеплення забезпечує кілька варіантів передачі крутного моменту від приводів до ходової частини автомобіля й навпаки. Для контролю стану трансмісії в пневмомагістралі передбачені датчики тиску P та температури t° . Режим пневмоагрегата контролюється датчиком положення та частоти обертання колінчастого валу n .

Пневматична система «Розгін-гальмування» (СРГ) автомобіля включає пневмоагрегат та пневмоаккумулятор (ресивер). Тиск в пневмоаккумуляторі забезпечується пневмоагрегатом в режимі компресора. Пневмоагрегат приводиться в дію від ДВЗ (за рахунок енергії пального). В пневмоприводі також передбачається рекуперація енергії гальмування автомобіля. У такому випадку, привід пневмоагрегата в режимі компресора відбувається через трансмісію від повідних коліс.

Для забезпечення оптимального керування таким гібридним приводом в напіваавтоматичному режимі система керування повинна реалізувати декілька функцій керування, спираючись на дії водія, поточні режими роботи ДВЗ, наявність достатнього тиску в ПАК та режимами руху автомобіля.

У чисто рекуперативному режимі роторні пневмоагрегати вимагають ускладнення схеми пневматичної системи. Це пов'язано з тим, що оборотність більшості роторних машин характеризується різноспрямованістю обертання ротора (в режимі двигуна в одну сторону, а в режимі компресора – у зворотному). Ведений вал трансмісії, як привід ПНА, обертається в одну сторону і під час відбору потужності і під час передачі крутного моменту. Вирішити цю проблему можна за допомогою механічної (реверсивного редуктора) або пневматичної (клапанної) розв'язки. Другий варіант є кращим за низкою показників (не вимагає перемикання силової механічної передачі, використовуються уніфіковані клапани, варіантність пневматичних схем, гнучкість системи керування).

Система СРГ підключається до вихідного валу трансмісії через зубчасту передачу механізму приводу МПР (рис. 3.37).

Потовщеними стрілками на схемі рис. 3.37 показано напрям тиску в магістралях для режимів компресора (суцільними) і двигуна (пунктирними), тонкими – сигналів системи керування (X – від датчиків; Y – на виконавчі пристрої).

Механізм приводу МПР включає редуктор і електромагнітну

муфту зчеплення. У найпростішому випадку МПР може бути постійно підключеним (без керування).

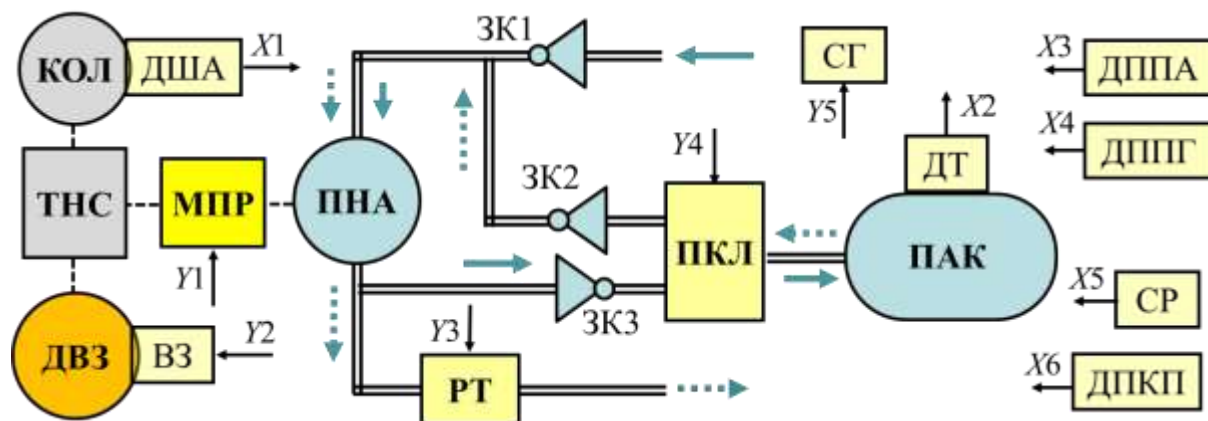


Рис. 3.37. Схема рекуперативної системи постійного підключення

Золотникові клапани ЗК забезпечують пневматичну розв'язку для роботи пневмопривода в обох режимах (компресора і двигуна) без зміни напрямку обертання ротора ПНА.

Регулятор (модулятор) тиску РТ з електроклапанами контролює витрату повітря під ШІМ-керуванням в режимі пневмодвигуна. У режимі компресора РД або перекриває вихід повітря, забезпечуючи заряд балона, або відкриває вихід компресора при зарядженому балоні, усуваючи втрати на компресію в трансмісії (режим клапана ЕКО). Двопозиційний електроклапан ПКЛ перемикає магістралі підводу повітря в режимах компресора і двигуна.

В системі СРГ (рис. 3.37) селектор вибору режиму СР передбачає три положення (статусу привода) – «Вимкнути», «Готовність», «Увімкнути». У першому положенні (рух на ДВЗ) система не активована, механічна прив'язка пневматики відсутня, електричні кола – знеструмлені. Такий статус обирають у разі малої ймовірності руху в пробці (траса). Друге положення селектора, забезпечує функціонування системи акумуляції енергії тиску (зарядження балона) за рахунок функціонування ПНА в режимі компресора. При цьому, відбувається контроль тиску в ПАК з сигналізацією готовності (заданий ресурс руху). Третій статус задіється водієм під час руху автомобіля в пробках або на світлофорах, в разі якщо сигналізатор тиску свідчить про готовність системи. В іншому випадку, активізація режиму автоматично виключається. Розглянемо алгоритм функціонування СРГ в експлуатаційних режимах автомобіля згідно зі схемою рис. 3.37.

1. При гальмуванні автомобіля (ступінь і динаміка натиснення педалі гальма) надлишки кінетичної енергії утилізуються в контурі рекуперації. При недостатній ефективності рекуперативного гальмування вступає в дію штатна гальмівна система. Система керування опитує ступінь заряду ПАК (датчик тиску ДТ), розпізнає положення селектора «Готовність» та положення педалі гальма ДППГ. Якщо, заряд ПАК не досяг кінцевого значення, клапан ПКЛ відкриває канал заряду ПАК через золотниковий клапан ЗКЗ. Процес повторюється з кожною спробою гальмування до тих пір, доки тиск повітря в балоні не досягне заданого значення (резерву розгону). У разі повного зарядження ПАК, чергове гальмування не викликає відкриття каналу заряду, а призводить до спрацьовування регулятора тиску РД в режимі клапана ЕКО (відкриває атмосферний вихід).

2. Гальмування при русі в пробці (обраний статус «Увімкнути») відпрацьовується штатною гальмівною системою. Перемикання КПП в нейтральне положення призводить до відключення ДВЗ. При цьому, компресор не задіється.

3. Розгін при русі в пробці (обраний статус «Увімкнути») активізується відпуском педалі гальма і здійснюється за допомогою ПНД за умови зарядженого ПАК. В цьому випадку, клапан рекуперації відкриває магістраль подачі повітря в ПНА, який в режимі двигуна передає крутний момент на вихідний вал трансмісії через редуктор. При цьому, система керування формує сигнал перемикання клапана ПКЛ в положення подачі тиску на основі інформації з датчиків: положення селектора «Увімкнути», нейтрального положення важеля ДПКП; тиску в балоні ДТ; швидкості руху автомобіля ДША. Натиснення педалі акселератора (сигнал з ДППА) керує РТ в режимі модулятора тиску.

4. Якщо резерв розгону вичерпаний, а рух в пробці не закінчений, (положення селектора «Увімкнути»), система керування інформує про це водія (сигналізатор готовності СГ), ігнорує статус «Увімкнути» і автоматично запускає ДВЗ. При цьому, РТ відкриває клапан ЕКО навіть при незарядженому ПАК (або відключається МПР).

5. Якщо рух в пробці закінчено, а резерв розгону не вичерпаний, водій вичавлює зчеплення і включає першу передачу, повертає селектор в положення «Готовність». При цьому, розгін починається за рахунок енергії пневмопривода з подальшим автоматичним запуском ДВЗ і підключенням його через зчеплення. Інтервал часу до запуску

ДВЗ, визначається системою керування на підставі потенційного запасу повітря в балоні (датчик ДТ).

Таким чином, описаний алгоритм функціонування рекуперативної системи «Розгін-гальмування» додатково виконує і функції системи «Старт-стоп».

Контрольні запитання

1. Назвіть напрямки створення концептуальних автомобілів.
2. Поясніть переваги та недоліки застосування електричного приводу на автомобілі.
3. Які атрибути у назві електродвигуна визначають його якісні характеристики?
4. За якими показниками обирають електродвигуни для приводу автомобіля?
5. Наведіть порівняльну характеристику електричних двигунів різного типу, що до їх застосування в приводі автомобіля.
6. Поясніть структуру електричного приводу автомобіля під визначений тип електродвигуна.
7. Поясніть устрій та експлуатаційні обмеження ТАБ.
8. За якими показниками обирають тип ТАБ для електроприводу автомобіля?
9. Дайте загальну характеристику електричних трансмісій автомобіля різних конструктивних композицій.
10. Наведіть переваги та недоліки застосування технології мотор-коліс.
11. Які різновиди компоновки використовуються в мотор-колесах?
12. Поясніть принцип будови мотор-колеса Дуюнова.
13. Поясніть принцип будови мотор-колеса Шкондіна.
14. Поясніть схемні рішення перетворювачів напруги різного типу.
15. Перелічить функції та вимоги до систем керування ЕП автомобіля.
16. За якими ознаками класифікують системи вентильного приводу?
17. Дайте загальну характеристику методів керування електродвигунами різного типу.
18. Назвіть призначення та варіантні виконання датчиків системи вентильного керування.
19. Поясніть структуру системи керування вентильним трьохфазним синхронним двигуном.
20. Поясніть функціонування системи керування електроприводом автомобіля у режимі рекуперації енергії.
21. Наведіть загальну класифікацію електрогібридних автомобілів.
22. Поясніть функціонування ГСУ за різними схемами передачі потужності.
23. Поясніть особливості структури системи керування ГСУ з електроприводом.
24. Поясніть функціонування силових кіл електроприводу з двома вентильними машинами в експлуатаційних режимах ГСУ.

25. Назвіть переваги та недоліки застосування пневматичного приводу автомобіля.
26. За якими ознаками класифікують пневмодвигуни?
27. Пояснить принцип будови пневмодвигуна конструкції Анджело Ді П'єтро.
28. Пояснить принцип будови пневмодвигуна конструкції Гая Негре.
29. Пояснить принцип будови пневмодвигуна конструкції М. Пустинського.
30. Пояснить функціонування системи керування пневмоприводом, що побудований на базі ДВЗ з електромагнітними клапанами ГРМ.
31. Перелічить варіантні композиції пневматичних ГСУ.
32. Дайте загальну характеристику варіантних схем пневматичної ГСУ з ДВЗ.
33. Пояснить улаштування та функціонування електропневматичних ГСУ.
34. Пояснить улаштування та функціонування пневмотермічного ГСУ з ДВЗ.
35. Пояснить функціонування гібридної пневмотрансмісії з теплообмінником.
36. Пояснить структуру і функціонування ГСУ «Розгін-гальмування» з пневмоприводом.

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АДКР – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;
АКБ – акумуляторна батарея;
АКП – автоматична коробка передач;
АТЗ – автотранспортні засоби;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
БВБ – блок високовольтної батареї;
БПН – блок перетворювачів напруги;
ВГ – відпрацьовані гази;
ВД – вимірювальні датчики;
ВЕД – вентиляльний електродвигун;
ВІД – вентиляльний індукторний двигун;
ВП – виконавчі пристрої;
ГКП – гібридна коробка передач;
ГМКП – гідромеханічна коробка передач;
ГРМ – газорозподільний механізм;
ГСУ – гібридна силова установка;
ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;
ДЗ – дросельна заслінка;
ДКПР – датчик кутового положення ротора;
ДМЗС – датчик миттєвого значення струму;
ДН – датчик навантаження двигуна;
ДПА – датчик положення акселератора;
ДПКП – датчик положення важеля коробки передач;
ДППГ – датчик положення педалі гальма;
ДПР – датчик положення ротора;
ДПС – двигун постійного струму;
ДТ – датчик тиску;

ДЧО – датчик частоти обертання;
ДША – датчик швидкості автомобіля;
ЕБК – електронний блок керування;
ЕД – електродвигун;
ЕКО – клапан екологічної системи;
ЕЛМ – електрична машина;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
ЕП – електропривод;
ЕПЗП – електрично-програмований запам'ятовуючий пристрій;
КВ – колінчастий вал;
КВН – контролер кола високої напруги;
КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
КЕМ – контролер електричної машини;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
КПП – коробка переключення передач;
КШМ – кривошипно-шатунний механізм;
МКП – механічна коробка передач;
МР – механізм розподілу;
МС – мехатронна система;
МП – мікропроцесор;
МПР – механізм приводу;
НАБ – низьковольтна акумуляторна батарея;
ОР – охолоджуюча рідина;
ОЗП – оперативний запам'ятовуючий пристрій;
ПАК – пневматичний акумулятор;
ПД – пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори;
ПКЛ – перемикаючий клапан;
ПНА – пневмоагрегат;
ПНБ – пневматичний балон;
ПНД – пневмодвигун;
ППС – паливо-повітряна суміш;
ПФ – паливна форсунка;
РКП – роботизована коробка передач;
РТ – регулятор тиску;
СД – синхронний двигун;
СДОЗ – синхронний двигун з обмоткою збудження;
СДПМВ – синхронний двигун із вбудованими постійними магнітами;
СДПМП – синхронний двигун з поверхневою установкою магнітів;
СРГ – система розгін-гальмування;
СРД-ПМ – синхронний реактивний двигун з постійними магнітами;
ТАБ – тягова акумуляторна батарея;
ТОБ – теплообмінник;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
ЧІМ – частото-імпульсна модуляція;
ШІМ – широто-імпульсна модуляція;

ШНМ – штучні нейронні мережі;
ХХ – холостий хід.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жавнер В.Л. Мехатронные системы: учеб. пособие / В. Л. Жавнер, А. Б. Смирнов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 131 с.
2. Применение мехатронных и робототехнических систем на транспорте. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: <https://helpiks.org/4-75856.html>.
3. Соснин Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: Учебн. пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 272 с.
4. Дентон Т. Автомобильная электроника. / Том Дентон; пер. с англ. Александрова В.М. – М.: НТ Пресс, 2008. – 576 с.
5. Данов Б.А. Електронні системи управління іноземних автомобілів. - М.: Гаряча лінія-Телеком, 2002. – 204с.
6. Бороденко Ю.М. Діагностика мехатронних систем автомобіля. / Бороденко Ю.М., Дзюбенко О.А., Биков О.М. Підручник. Харків: ХНАДУ, 2016. – 320 с.
7. Соснин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. / Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.
8. Литвиненко В.В. Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. – 176 с.
9. Системы мониторинга. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: https://studopedia.su/7_1705_sistemi-monitoringa.html
10. Деменков Н. П. Нечеткое управление в технических системах: учеб. пособие. / Н. П. Деменков. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. - 198 с.
11. Искусственная нейронная сеть. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
12. Искусственные нейронные сети (ИНС). / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/iskusstvennye-nejronnye-seti-ins>
13. Управление транспортным средством с помощью нейронной сети. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/101789/>.
14. Барский А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с.
15. Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. Нейроуправление и его приложения. 2-е изд. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.
16. Полный привод: особенности, плюсы и минусы конструкций. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступа: <https://5koleso.ru/articles/garazh/polnyy-privod-osobennosti-plyusy-i-minusy-konstrukciy>.

17. Виды полного привода автомобилей с конкретными примерами. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <http://autoepoch.ru/avtoazbuka/polnyj-privod-avtomobilya.html>.
18. Электронное сцепление. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/coupling/eClutch.html>.
19. Электронная педаль сцепления. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://znanieavto.ru/mufta/elektronnoe-sceplenie.html>
20. Роботизированная коробка лада АМТ. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://otoba.ru/transmissii/vaz/2182.html>
21. Электромагнитная муфта. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://stankiexpert.ru/tehnologicheskaya-osnastka/zapchasti/ehlektromagnitnaya-mufta.html>.
22. Что такое Haldex, как он работает и чем отличается 1-5 Gen. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/b/1488033/>.
23. Система полного привода xDrive. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/transmission/xDrive.html>.
24. Блокирующийся дифференциал eLocker Eaton. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: https://b2motor.com/index.php?route=information/articles&articles_id=16.
25. Блокируемые дифференциалы. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://5koleso.ru/content/blokiruemye-differencially>.
26. Активный дифференциал или управление тягой. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://automobilproject.pp.ua/aktivnyj-differencijal-ili-upravlenie-tyagoj/>.
27. Система A.D.D. описание работы системы. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://www.drive2.ru/l/473028869918556343/>.
28. Межосевой дифференциал с изменяемой степенью блокировки DCCD. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://autodata.ru/article/all/mezhosevoy-differentsial-s-izmenyaemoy-stepenyu-blokirovki-dccd/>.
29. Полный привод SH-AWD - уникальное решение от Honda. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: https://pikabu.ru/story/polnyiy-privod-shawd-unikalnoe-reshenie-ot-honda_4332705.
30. Актив, пассив, гибрид? / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: https://www.mitsubishi-motors.ru/pressauto/aktiv_passiv_gibrid/.
31. Водородные автомобили: особенности, характеристики и ТОП-7 моделей. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://autogeek.com.ua/hydrogen-fuel-cell-electric-vehicles/>.
32. Четыре главных вопроса перспективы массового использования электромобилей. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://hevcars.com.ua/reviews/4-pregrady-na-puti-razvitiya-uspeha-elektromobiley/>.
33. Электродвигатели. / Материалы сайта – 2019. – Режим доступа: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/motor/>.

34. Аккумуляторные батареи для электромобилей – все, что вы хотели знать. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://hevcars.com.ua/reviews/akkumulyatornyie-batarei-dlya-elektromobiley/>.
35. Электромобиль-конструктор: моторы и привод от GKN. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://e-move.com.ua/elektromobil-konstruktor-motory-i-privod-ot-gkn/>.
36. Мотор-колесо Дуюнова. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <http://fb.ru/article/341644/motor-koleso-duyunova-opisanie-ustroystvo-shema-i-otzyivyi>.
37. Мотор-колесо Шкондина. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <http://www.electra.com.ua/istoricheskie-fakty/454-motor-koleso-shkondina.html>.
38. Инвертор: что это и как работает. Принцип работы гибридного Lexus (Toyota). / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://club-lexus.ru/faq/index.php?article=724>.
39. Управление вентильным электродвигателем. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <http://electricalschool.info/elprivod/1910-upravlenie-ventilnym-jelektrodvigatелеm.html>.
40. Векторное управление двигателем. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/vector/>.
41. Классификация гибридных систем. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/dvigatel/klassifikatsiya-gibridnyh-sistem/>.
42. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатов, А.В. Колесніков. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
43. Плюсы и минусы автомобилей на сжатом воздухе. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://autogeek.com.ua/plyusyi-i-minusyi-avtomobiley-na-szhatom-vozduhe/>.
44. Двигатель на сжатом воздухе для автомобиля. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: http://ecoconceptcars.ru/2011/01/blog-post_29.html.
45. Подзаряжаемый гибрид – автомобиль ближайшего будущего. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://itc.ua/articles/podzaryazhaemyiy-gibrid-avtomobil-blizhayshego-budushhego/>.
46. Hybrid Air – воздушный гибрид от Peugeot Citroën. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://www.facepla.net/the-news/eco-transportation-mnu/3180-hybrid-air-peugeot-citroen.html>.
47. PHEV (pneumatic-hybrid electric vehicle) – пневмоэлектрические гибридные машины. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <http://ecoconceptcars.ru/2011/04/phev-pneumatic-hybrid-electric-vehicle.html>.
48. Принцип работы и устройства пластинчатого пневмодвигателя. / Матеріали сайту – 2019. – Режим доступу: <https://guarblog.ru/dvigatel-na-szhatom-vozduhe-princip-raboty-hybrid-air-gibridnyi/>.