

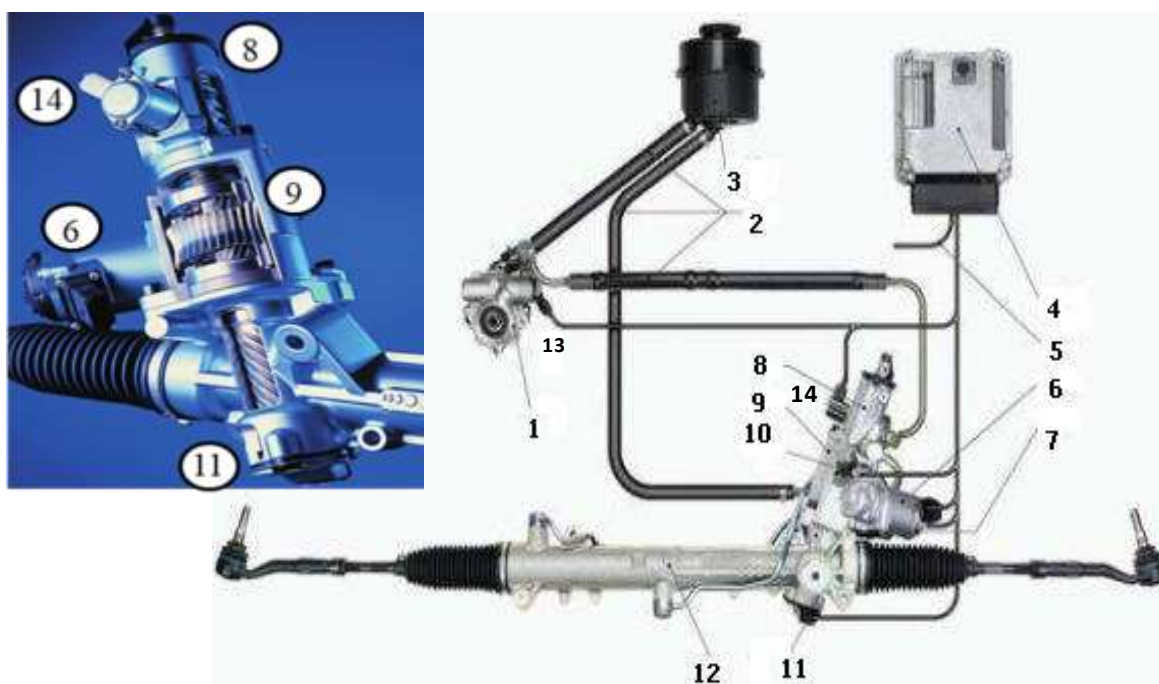
Дисципліна «ЕСКТЗ»
 Частина 3 «Мехатронні системи ходової частини автомобіля»
 Тема 13 «Системи рульового керування»
 Лекція № 35 (2 години)

5. Побудування систем активного керування.

6. Структура і функціонування інтегральної системи керування.

5. Побудування систем активного керування

Система активного рульового керування AFS (Active Front Steering) складається з системи гідропідсилювача Servotronic 1, доповненої електроприводом з планетарною передачею у розриві рульового валу [5], рисунок 18.



1 – гідронасос; 2 – трубопроводи; 3 – бачок; 4 – ЕБК; 5 – мультиплексна лінія зв'язку; 6 – електродвигун привода; 7 – датчик кутового положення ротора електродвигуна; 8 – датчик кутового положення керма; 9 – привід суматора (планетарний редуктор); 10 – електромеханічний блокатор (стопор ЕД); 11 – датчик кута повороту шестерні; 12 – корпус зубчастої рейки і гідроциліндра; 13 – клапан ЕСО; 14 – клапан Servotronic

Рисунок 18. Склад системи активного рульового керування AFS

Планетарний редуктор служить для зміни швидкості обертання рульового валу. Він встановлюється на рульовому валу. Планетарний редуктор включає сонячну шестерню, блок сателітів і коронну шестерню. На вході рульовий вал з'єднаний з сонячною шестернею, на виході – з блоком сателітів.

Коронна шестерня має можливість обертання. При нерухомій шестерні передавальне число планетарного редуктора дорівнює одиниці і рульовий вал передає обертання безпосередньо. Обертання коронної шестерні в одну або іншу сторону дозволяє збільшити або зменшити передавальне число планетарної

передачі, чим досягається зміна передавального відношення рульового механізму. Обертання шестерні забезпечує електродвигун, з'єднаний з її зовнішньою стороною за допомогою черв'ячної передачі.

В результаті планетарний механізм з електромотором може повернути керовані колеса до восьми градусів за командою бортової електроніки. Тобто автомобіль може підрулювати самостійно. Система AFS дозволяє змінювати передавальне відношення рульового приводу в дуже широких межах.

Система AFS в своїй роботі використовує сигнали датчиків: положення електродвигуна; сумарного кута повороту; кута повороту рульового колеса; системи динамічної стабілізації (швидкості обертання автомобіля навколо вертикальної осі і вертикального прискорення). Датчик сумарного кута повороту рульового механізму може не встановлюватися, в цьому випадку кут розраховується на підставі сигналів інших датчиків.

Електронний блок керування має з'єднання і здійснює взаємодію з блоками керування інших систем автомобіля: гідропідсилювача Servotronic; динамічної стабілізації DSC; керування двигуном; доступу в автомобіль.

Виконавчим механізмом системи AFS є електродвигун, сигналізатором - сигнальна лампа на панелі приладів. Електродвигун забезпечує обертання коронної шестерні планетарного редуктора. Електродвигун обладнаний аварійним електромагнітним фіксатором, блокуючим черв'ячну передачу. У вихідному положенні передача заблокована. При подачі струму на електродвигун, спрацьовує електромагніт, і фіксатор, долаючи зусилля пружини, звільняє ротор електродвигуна. При виникненні несправності в системі AFS, припиняється подача струму на електродвигун, фіксатор блокує черв'ячну передачу.

Виникнення несправностей в системі супроводжується спрацьовуванням сигнальної лампи на панелі приладів. При цьому, на інформаційному дисплеї з'являється повідомлення системи самодіагностики.

Система AFS активується при запуску двигуна. Робота системи полягає в зміні передавального відношення рульового механізму залежно від швидкості і умов руху.

При здійсненні маневрів на низькій швидкості відповідно до сигналом датчика кута повороту рульового колеса включається електродвигун. Електродвигун через черв'ячну пару передає обертання на коронну шестерню планетарного редуктора. Обертання шестерні в певному напрямку з максимальною швидкістю забезпечує найменше передавальне відношення рульового механізму, яке досягає значення 1:10. При цьому, кермо перестає бути «гострим», зменшується кількість обертів рульового колеса від упору до упору, чим досягається високий комфорт в керуванні.

З ростом швидкості руху виконання поворотів супроводжується зменшенням частоти обертання електродвигуна, відповідно збільшується передавальне відношення рульового механізму. На швидкості від 180 км/год до 200 км/год передавальне відношення досягає оптимального значення 1:18.

Електродвигун, при цьому, перестає обертатися, а зусилля від рульового колеса передається на рульовий механізм безпосередньо.

З подальшим зростанням швидкості електродвигун знову починає працювати, при цьому обертання відбуваються в протилежному напрямку. Передавальне відношення рульового механізму може досягати 1:20. При цьому, передавальне відношення забезпечує найменшу «гостроту» керма, збільшується кількість обертів рульового колеса від упору до упору, тим самим забезпечується безпека маневрування на високих швидкостях.

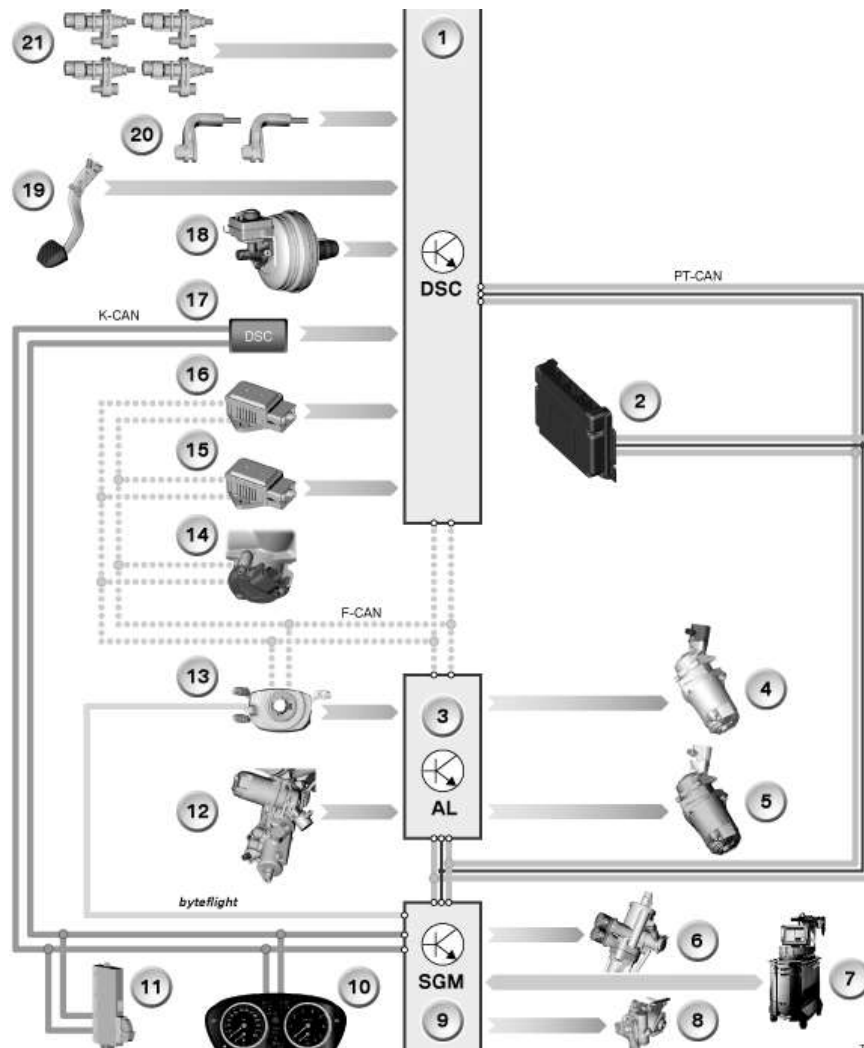
Якщо при проходженні повороту фіксується надлишкова обертальність автомобіля (втрата зчеплення задніх коліс з дорогою), система AFS, на підставі сигналів датчиків системи DSC самостійно коригує кут повороту передніх коліс. В результаті цього, зберігається курсова стійкість автомобіля. У разі, коли система активного рульового керування не може повністю забезпечити стійкість автомобіля, підключається система динамічної стабілізації.

Електроклапан ECO (Electronically Controlled Orifice) в насосі гідропідсилювача рульового керування регулює потік (продуктивність) станом (потреби тиску) і знижує постійний тиск в гідравлічній системі шляхом шунтування навантаження. В результаті, споживання потужності насосом гідропідсилювача знижується, і знижуються витрата палива і викид вуглекислого газу ДВЗ.

Аналогічним чином побудована активна система ESAS (Electric Steer Assisted Steering), яка відрізняється від системи AFS про-грамним забезпеченням. Нова опція дозволяє не тільки змінювати передавальне відношення, але й самостійно (без участі водія) повертати колеса на деякий кут. До числа активних систем також відносяться і інтегральні системи AS (Active Steering) з електромоторними актуаторами на кожній осі автомобіля [6].

У системах рульового керування комбінованої структури для реалізації алгоритму керування використовуються сигнали датчиків і функціональних перетворювачів суміжних систем контролю динаміки автомобіля. Побудова систем комбінованої структури має подвійний сенс. По-перше, це дозволяє зменшити кількість датчиків для виконання основних функцій рульового керування, по-друге, – розширити можливості (підвищити функціональність) системи і реалізувати більш гнучкі алгоритми керування автомобілем.

Так, наприклад, для визначення швидкості руху автомобіля можна використовувати сигнали колісних датчиків системи ABS, а для побудови систем адаптивного рульового керування, – датчиків поперечного прискорення системи курсової стійкості автомобіля. Таким чином, структура комбінованої системи визначається сукупністю і рівнем електронних систем керування, які вже використовуються на борту автомобіля. Для прикладу, розглянемо структурну схему активного рульового керування автомобіля BMW, рисунок 19.



1 - ЕБК системи стійкості (DSC); 2 - ЕБК системи ДВЗ (DME); 3 - ЕБК системи керма (AL);
 4 - блокувальник сервоприводу; 5 - сервопривід механізму повороту; 6 - клапан Servotronic;
 8 - насос гідропідсилювача; 9 - модуль мережевого обміну (SGM); 12 - датчик ротора
 електродвигуна AL; 13 - датчик кута рульового колеса; 14 - датчик сумарного кута повороту;
 15,16 - датчики DSC; 21 - датчики кутової швидкості коліс (ABS)

Рисунок 19. Схема структурна системи активного рульового керування

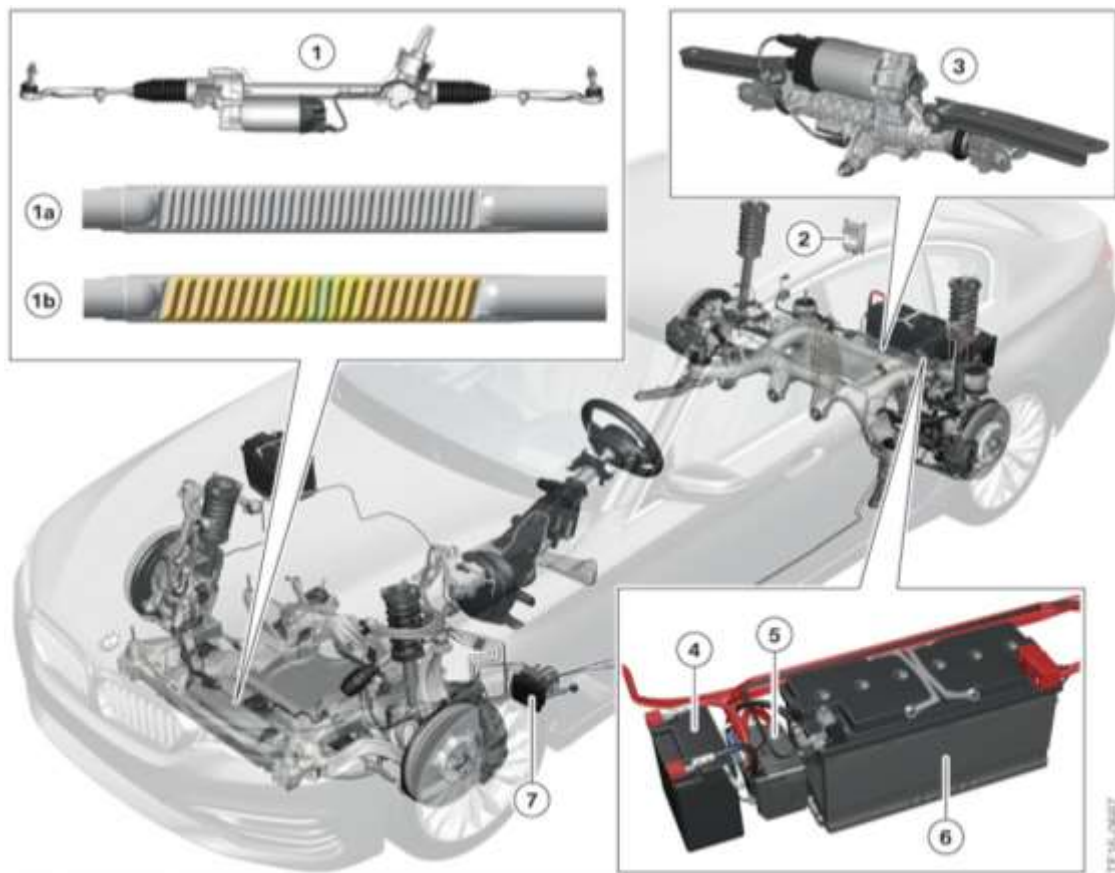
Інформаційні зв'язки систем комбінованої структури представляються шинними структурами, в яких використовуються різні лінії зв'язку (CAN, Local-CAN, LIN, FlexRay, Ethernet, MOST, BSD). Ще одним прикладом системи комбінованої структури є інтегральні системи рульового керування [8].

Інтегральне активне рульове керування має характерні відмінності від базових систем, розглянутих раніше. По-перше, в системі активного керування колесами передньої осі AFS застосована спеціальна рульова рейка, яка забезпечує змінне передавальне відношення. По-друге, застосований електромоторний привід задніх коліс на зразок рульової рейки з мотором. Мотор повертає задні колеса, залежно від швидкості руху. До 60 км/год задні колеса повертаються в протифазі з передніми. Це створює відчуття укороченої бази, зменшує діаметр

розвороту і покращує маневреність і динаміку. Починаючи з 60 км/год, задні колеса встановлюються паралельно переднім. Це позитивно позначається на стійкості руху і комфорті керування.

6. Структура та функціонування інтегральної системи рульового керування

Інтегральна система рульового керування IAL (Integral Assisted Steering) складається з двох рульових механізмів, які суцільно керують кутівим положенням передніх AL (Active Steering) та задніх HSR (Highly Sophisticated-transport Research) коліс, рисунок 20.

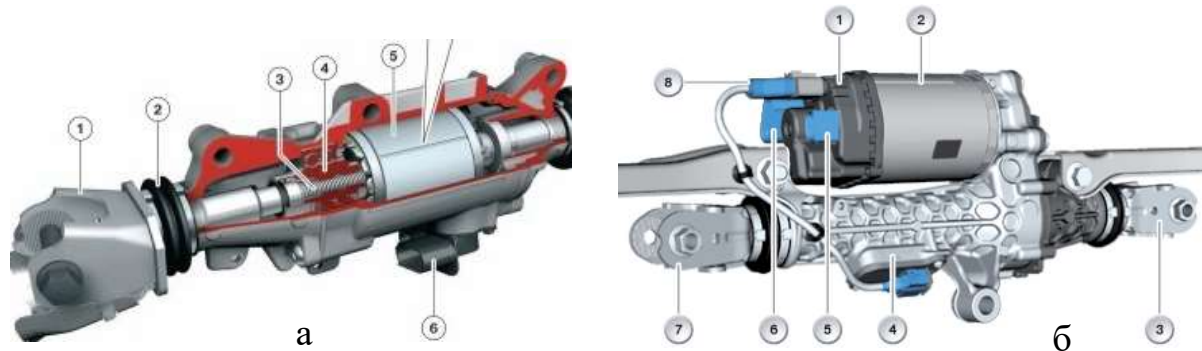


1 – привод задних колёс; 2 – ЕБК HSR; 3 – привод задних колёс; 4 – зарядное устройство;
5 – разделительное реле; 6 – дополнительная АКБ; 7 – блок системы DSC

Рисунок 21. Компонівка інтегральної системи рульового керування BMW F07.

Привод задніх коліс активується в залежності від швидкості руху. До 60 км/год задні колеса повертаються в протифазі з передніми. Це створює відчуття укороченої бази, зменшує діаметр розвороту і покращує маневреність і динаміку. Починаючи с 60 км/год, задні колеса встановлюються паралельно переднім колесам. Це позитивно позначається на стійкості руху і комфорті керування, особливо при різких і швидких маневрах.

В системі використовуються сигнали датчиків: кутової швидкості коліс; кута повороту рульового колеса; стану виконавчих пристроїв AL та HSR. Рульове керування передніх коліс AL базується на системі Servoelectric або AFS. Керування колесами заднього моста реалізує система HSR. Конструкція приводу кутового положення коліс задньої осі визначається виробником, рисунок 21.



а – з інтегрованим двигуном; б – із зовнішнім двигуном

Рисунок 21. Компонівка електромеханічного приводу системи HSR.

На рисунку 21, а позначено позиції: 1 – кріплення важелів сходження; 2 – манжета; 3 – гвинтовий вал; 4 – гайка гвинтового валу; 5 – електродвигун; 6 – електричне рознімання. На рисунку 21, б позначено позиції: 1 – електронний блок керування HSR; 2 – серводвигун; 3, 7 – з'єднання заднього моста; 4 – датчик положення приводу; 5, 6, 8 – електричні підключення. Електронний блок HSR здійснює керування серводвигуном, вбудованим в актуатор системи регулювання кута бічного відведення задньої осі. Інтегральна система забезпечує:

- розширення активного рульового керування AFS функцією HSR;
- змінне передавальне відношення залежно від швидкості руху;
- вільний вибір кута повороту задніх коліс;
- функції системи Servotronic;
- функції стабілізації руху;
- скорочення гальмівного шляху на покриттях різного зчеплення.

Найбільшу кількість систем поєднують *інтегровані системи керування* ходовою частиною ІСМ [9]. Стратегія керування ІСМ полягає у тому, щоб зібрати сигнали з органів керування автомобілем і датчиків, провести проміжні розрахунки для оцінки ситуації та розподілити керуючі впливи по системам з певним ступенем їх участі в реалізації поставленого завдання. Інтегральне рульове керування є однією з функцій поперечного контролю системи ІСМ, рисунок 22.

Параметри інтегрального активного рульового керування ІАС, що впливають на динаміку автомобіля, в таких системах розраховуються центральним блоком керування ІСМ. За поточним режимом руху і напрямку руху, що задається водієм, ІСМ розраховує значення для змінного передавального відношення керма і системи регулювання кутової швидкості нишпорення.



1 – датчик кутової швидкості коліс; 2 – модуль системи DSC; 3 – датчик кута повороту керма; 4 – блок керування AL; 5 – виконавчий механізм AL; 6 – блок керування HSR; 7 – виконавчий механізм HSR; 8 – блок керування ICM; 9, 10 – датчики DSC

Рисунок 22. Структура комбінованої системи керування IAL

Після розстановки пріоритетів ICM видає задане значення блокам керування колесами передньої AL і задньої HSR осі, які активізують відповідні виконавчі пристрої.

Перспективні розробки (факультативна тема)

Удосконалення систем рульового керування можна здійснювати в декількох напрямках. Для систем із застосуванням електроприводу такими напрямками є:

- заміна механічних, пневматичних систем і систем з гідروпідсилювачем (ГПР) на системи з електропідсилювачем (ЕПР);
- підвищення компактності конструкції активних систем з ЕПР;
- втілення систем превентивного керування з використанням відеокамер;
- втілення систем рульового керування по дротам;
- застосування інноваційних конструкцій керма;
- використання датчиків керма нових конструкцій з поліпшеними техніко-експлуатаційними характеристиками;
- підвищення функціональності систем з опціями допомоги водію;
- інтегрування електронних систем керування в комбіновані структури.

Розглянемо перспективні розробки закордонних виробників, які застосовані на автомобілях останнього покоління або, на даний час, використовуються тільки, як експериментальні, або взагалі вважаються перспективними концептуальними пропозиціями [10]. За першим напрямком розвитку розглядається електричний підсилювач рульового керування ZF ReAX спроектований для підтримки електронних систем EPS (Electrically Powered Steering) комерційних вантажівок і автобусів, рисунок 23, а.



а – на рульовому механізмі ReAX EPS; б – на ступці керма
Рисунок 23. Компонівка електричного приводу керма

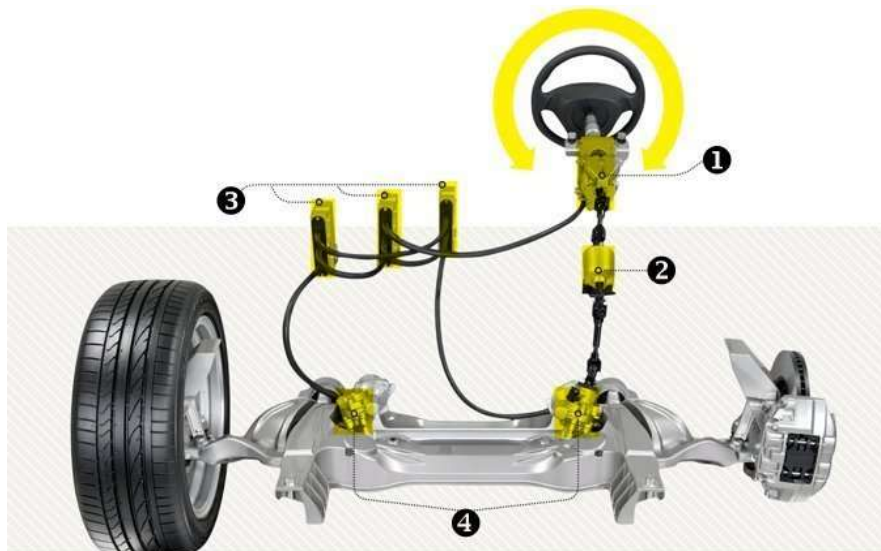
Повністю електричне рульове керування – важлива складова систем допомоги водієві (ADAS) і функцій автоматизованого водіння, здатних підвищити безпеку, спростити роботу водіїв та вдосконалити логістичні процеси. Більш того, підсилювачі ReAX EPS ZF підвищують ефективність агрегатів, оскільки мають меншу масу і вимагають менше монтажного простору в порівнянні зі звичайним гідравлічним рульовим керуванням. Основа системи – виконавчий механізм, оснащений електродвигуном з обертовим моментом до 70 Нм і вбудованим блоком керування, коробкою передач і системою датчиків.

Система ReAX EPS підтримує функції: активного повернення рульового колеса в положення прямолінійного руху, компенсації ухилу дороги і бокового вітру, посилення рульового керування залежно від швидкості. Крім цього, можна запрограмувати практично будь-який режим рульового керування у вигляді характеристики відповідного автовиробника або у вигляді опцій для водія.

Найцікавіший підхід до системи змінюваного передавального відношення рульового механізму запропонувала компанія Ford [10]. Інженери під'єднали до рульового валу електромотор, який при необхідності загострює кермо. Оригінальним в цій розробці є компоновка електроприводу. Інженери Ford розмістили електродвигун прямо в маточини керма. Там же встановлено і подушка безпеки, і органи керування системами мультимедіа і круїз-контролю, рис. 23, б.

Експериментальне обладнання було встановлено на автомобіль Nissan Leaf. Принцип дії заснований на постійному моніторингу навколишнього простору за допомогою декількох відеокамер і виявленні так званих зон ухилення (escape zones). При появі небезпеки комп'ютер вже знає, чи можна направити машину правіше або лівіше, чи немає там інших автомобілів, чи дозволить зчеплення коліс з дорогою зробити маневр досить швидко і безпечно.

Система адаптивного рульового керування DAS (Direct Adaptive Steering) встановлюється на деякі комплектації автомобіля Infiniti Q50 з 2013 року, рисунок 24.



1 – датчик рульової сили; 2 – зчеплення; 3 – модулі управління;
4 – виконавчі електромотори

Рисунок 24. Склад системи адаптивного рульового керування

Завдяки керуванню по дротах (steer-by-wire), електроніка дозволяє адаптувати роботу рульового керування до конкретних умов руху і індивідуальних запитів водія. В системі DAS використовуються ДКПР і зусилля на кермі. Інформація від ДКПР використовується для обчислення кута повороту передніх коліс. Датчик зусилля встановлюється в рульовому механізмі передніх коліс і служить для формування зворотного зв'язку з рульовим колесом залежно від умов та режимів руху автомобіля.

Сигнали від датчиків надходять в три ідентичних ЕБК (апаратне резервування), які дублюють роботу один одного. Відповідно до закладеної програми блоки формують керуючий вплив на виконавчі пристрої: сервопривід рульового механізму, сервопривід рульового колеса, електромагнітне зчеплення. В системі використовується окремий сервопривід на кожне з передніх коліс. Сервопривід рульового колеса створює електронну симуляцію природного опору на рульовому валу, забезпечуючи зворотний зв'язок з реакцією дорожнього полотна. Електромагнітне зчеплення встановлюється в розріз рульової колонки і забезпечує другу ступінь захисту. При подачі електричного живлення, зчеплення розмикається, рульове керування здійснюється по проводах. При втраті живлення, зчеплення замикається, рульове керування здійснюється за традиційною механічною схемою.

Функціонування електронної системи адаптивного рульового керування здійснюється наступним чином. Коли водій обертає рульове колесо, датчик ДКПР зчитує зміну кута, а ЕБК розраховує необхідний кут повороту передніх коліс. Сервоприводи рульового механізму переміщують рульову рейку і забезпечують поворот коліс на розрахунковий кут. Фактичне зусилля повороту на колесі вимірюється відповідним датчиком і передається в блок керування. Піс-

ля обробки інформації ЕБК посилає сигнал на сервопривід рульового колеса для імітації зворотного зв'язку з дорогою.

Система DAS дозволяє водієві вибирати характер зворотного зв'язку. В налаштуваннях передбачені три режими роботи – важкий, стандартний і легкий. Крім перерахованих режимів, зусилля і реакції системи можуть бути персоналізовані. Система адаптивного рульового керування має кілька переваг, що відрізняють її від традиційного механічного керування: швидкодія; точність керування; відсутність вібрацій на кермі; можливість реалізації нових функцій [11].

Концепт Honda EV-STER представляв замість керма в салоні автомобіля два джойстика, рисунок 25, а.



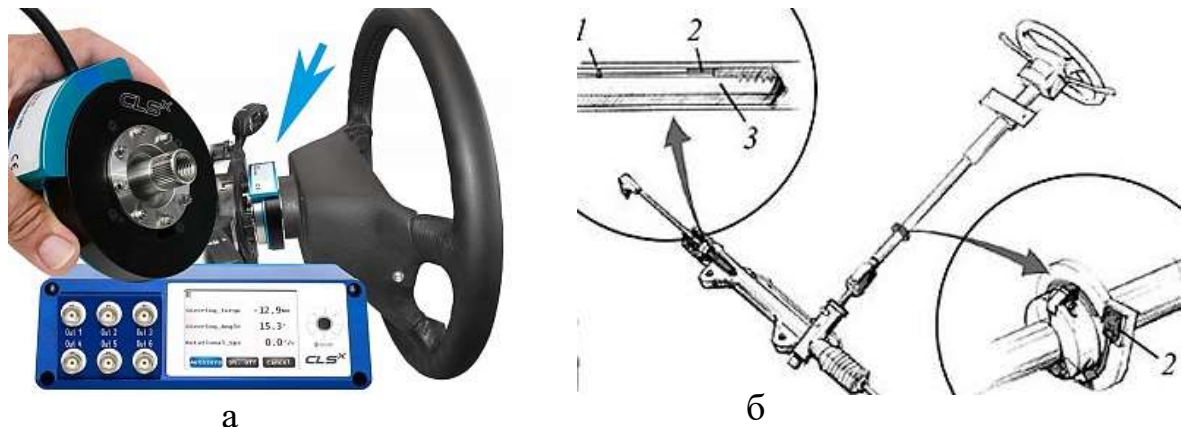
а – пропозиція Honda EV-STER; б – пропозиція Citroën
Рисунок 25. Концептуальні конструкції керма

Сенс такої концепції в тому, щоб перевантаження в повороті не заважали водієві керувати автомобілем.

В 2005 році компанія Citroën демонструвала концептуальний С5 з системою X-by-wire [10]. Замість керма в салоні з'явився штурвал, схожий на авіаційний, за допомогою якого, водій може керувати не тільки напрямком руху, а й розгоном і гальмуванням, рисунок 25, б. На кожній рукоятці штурвала розташовані курки для пальців, один з яких є датчиком акселератора, а другий – гальмування. Штурвал дозволяє керувати автомобілем без перехоплень на будь-якій швидкості завдяки змінному передавальному відношенню рульового механізму. Центральне місце в механізмі відхилення займає система керування по проводах steer-by-wire, яка вже згадувалась.

Стосовно використання нових датчиків відзначимо наступні інноваційні пропозиції. Датчики крутного моменту на кермо серії CLSx, дозволяють вимірювати з високою точністю зусилля на кермі, кут повороту керма, швидкість і прискорення обертання [12]. Відрізняються високою надійністю і простотою

установки. Унікальна конструкція датчика зводить до мінімуму вплив осьових навантажень на показання датчика, рисунок 26, а.



а

б

а – датчики за технологією CLSx; б – магніострикційні датчики

Рисунок 26. Установка датчиків положення нових конструкцій

Сенсор встановлюється між заводським рульовим колесом автомобіля і рульовою колонкою. При цьому, всі функції керма після установки датчика зберігаються, включаючи працездатність подушки безпеки. Датчик встановлюється на будь-який автомобіль за допомогою спеціальних перехідників.

Застосування магніострикційних технологій в автомобільних системах здійснюють компанії Bosch, General Motors, Ford і інші компанії, що використовують ці датчики для самих різних застосувань. Основне застосування автомобільні магніострикційні датчики знаходять в детектуванні лінійних переміщень (підвіски, системи рульового керування, перемикання передач і контроль положення коліс), де в першу чергу для підвищення точності необхідна мінімізація числа кутових перетворювачів [13].

Спосіб застосування магніострикційних датчиків переміщення типу MTS в рульовому керуванні для електронних систем автоматичного паркування автомобіля наведено на рисунку 26, б (1 – магніт, 2 – магніострикційний датчик, 3 – стійка рульового механізму).

Стосовно підвищення функціональності систем позначимо декілька пропозицій закордонних виробників.

Підсилювач керма в Volkswagen працює в зв'язці з системою стабілізації ESP. Якщо система ESP повідомляє, що автомобіль протягом тривалого часу їде прямо, а кермо при цьому повернути, система робить висновок про наявність бічного вітру, поперечного ухилу дороги або колії. Комп'ютер дає команду ЕПР збільшити потужність, і зусилля на кермі зникає [10].

Існує два рівноважних підходи до реалізації змінного передавального відношення в рульовому керуванні. В обох випадках необхідний додатковий електродвигун. У варіанті Audi він змінює характеристики редуктора, що розриває рульовий вал. Ця система називається Side-Wind Compensation. В системі керування Volkswagen функція Counter-Steering Assistance може підказати водієві як

протидіяти заносу. Підсилювач керма спрацює так, що повернути кермо в правильну сторону буде легко, а в неправильну – важко. У версії Ford функція Counter-Steering Assist керує електродвигуном і обертає вал, допомагаючи водієві непомітно для нього [10].

У гоночних автомобілів керування, як правило, дуже гостре, що дозволяє реалізувати динамічне маневрування. Однак при русі по прямій гостре кермо призводить до стомлюваності водія. Щоб задовольнити обом стилям водіння застосовуються системи рульового керування із змінним передавальним числом. Така система Dynamic Steering встановлюється на деяких моделях Audi. Система працює в злагоді з ESP і дозволяє непомітно втручатися в керування з метою безпеки. Система допомагає ESP погасити ковзання в початковій стадії, повернувши колеса в сторону заносу. При інтенсивному гальмуванні машина може підрулювати, щоб компенсувати зміни курсу при блокуванні коліс [10].