

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження режимів роботи електричного підсилювача  
рульового управління»

Виконав: студент VI курсу

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Назар ФЕДАК

(ім'я та прізвище)

Керівник: Ростислав ПАСЛАВСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024



УДК 629.032

Федак Назар Ігорович. «Дослідження режимів роботи електричного підсилювача рульового управління»

//Кваліфікаційна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. – 62 с.

Проаналізовано типи підсилювачів рульового керування, які застосовуються в автомобілях. Описано будову та принцип дії різних систем рульового керування, наведено їх переваги та недоліки. Описано процедуру діагностики та отримання даних із системи електричного підсилювача рульового керування автомобіля Renault Megane 2. Досліджено залежність зміни крутного моменту на валу електродвигуна підсилювача керма від моменту на рульовому колесі при різних налаштуваннях блоку керування електропідсилювача. Пораховано штучну вентиляцію для зони технічного обслуговування. Пораховано економічний ефект застосування автомобіля із електричним підсилювачем відносно гідравлічного підсилювача.

Табл. 2; рис. 37, бібліогр. джерел 21

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	4
ВСТУП .....	5
1 РУЛЬОВІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ .....	7
1.1 Будова рульового керування .....	7
1.2 Види рульового керування .....	9
1.3 Гідравлічний підсилювач із механічним приводом.....	12
1.4 Електрогідравлічний підсилювач керма .....	16
1.5 Електромеханічний підсилювач керма .....	20
1.6 Динамічне рульове керування.....	28
2 ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ПІДСИЛЮВАЧІВ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ.....	34
2.1 Ємнісний датчик підсилювача керма.....	34
2.2 Датчик підсилювача керма на ефекті Холла .....	35
2.3 Датчик крутного моменту на рульовому колесі .....	36
2.4 Датчик моменту повороту рульового колеса .....	37
2.5 Датчик кута повороту керма .....	40
2.6 Двигун електромеханічного підсилювача рульового управління.....	42
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
3.1 Дослідний електропідсилювач керма.....	45
3.2 Діагностичне обладнання .....	47
3.2.1 Діагностичний прилад ThinkDiag+ .....	47
3.2.2 Процедура діагностування електричного підсилювача .....	48
3.3 Результати експериментальних досліджень.....	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	53
4.1 Вимоги до приміщень .....	53
4.2 Виробнича санітарія.....	53
4.3 Вентиляція приміщення.....	54
4.4 Техніка безпеки .....	56
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	57
5.1 Оцінка ефективності енергозбереження.....	57
5.2 Розрахунок економічної ефективності.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	61

## ВСТУП

В умовах сучасної автомобільної промисловості, коли зростають вимоги до безпеки, комфорту та ефективності транспортних засобів, розробка і вдосконалення електричних систем, таких як підсилювачі рульового управління, стає надзвичайно актуальною. Електричні підсилювачі рульового управління значно покращують маневреність автомобіля, зменшують зусилля, необхідні для управління рульовим колесом, а також сприяють підвищенню точності та стабільності руху транспортного засобу.

На сьогодні майже всі сучасні легкові автомобілі оснащені підсилювачами рульового керування, оскільки зростання маси та розмірів транспортних засобів ускладнює комфортне та безпечне керування без додаткової допомоги. Оснащення автомобілів підсилювачами досягає приблизно 95–100% для моделей, які випускаються після 2010 року[1].

Станом на 2024 рік у світі було виготовлено близько 77 мільйонів легкових автомобілів. Найбільше автомобілів виробляють у Китаї (понад 25 мільйонів), США (близько 8,8 мільйонів) і Японії (8 мільйонів)[2]. Оснащення легкових автомобілів підсилювачами керма є стандартом у більшості сучасних транспортних засобів, особливо з огляду на поширення електромеханічних та гідравлічних підсилювачів. Близько 90% автомобілів у світі мають ту чи іншу систему підсилення рульового керування[2].

Попри численні переваги, що надаються цими системами, різноманітні режими їх роботи можуть суттєво впливати на загальні показники ефективності, адекватності реакцій і надійності. Це вимагає детального дослідження і аналізу різних режимів, характерних для роботи електричних підсилювачів рульового управління, а також умов, які визначають їх продуктивність.

Метою даної роботи є вивчення різних режимів роботи електричного підсилювача рульового управління, аналіз їх впливу на характеристики управління автомобілем, а також розробка рекомендацій щодо оптимізації роботи таких систем. У процесі дослідження будуть використані практичні експерименти та їх аналіз.

Актуальність даної теми обумовлена необхідністю покращення системи активної безпеки автомобілів, підвищення їх ефективності та зниження витрат на експлуатацію, що в цілому сприяє розвитку автомобільної галузі та задовольняє потреби сучасного споживача.

# 1 РУЛЬОВІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ

Система рульового управління (СРУ) - це комплекс механізмів, які дозволяють водієві повертати колеса в потрібну сторону і керувати напрямом руху авто. Разом із гальмівною системою утворюють систему керування автомобілем. Конструктивні особливості, стан СРУ безпосередньо впливають на керованість транспортного засобу.

В даний час рульове управління є одним з елементів активної безпеки автомобіля. Воно було задумано для того, щоб автомобіль не тягнуло в сторону, що збільшує стійкість руху. Це досягається завдяки регулюванню у поєднанні з геометрією передньої та задньої трансмісії.

Стійкий рух підвищує комфорт і безпеку. Система сприяння управлінню транспортним засобом зазнала значних змін, а гідравлічні технології поступаються місцем електромеханічним.

Удосконалення систем управління допомогло підвищити безпеку і, перш за все, комфорт водія. У сучасних компактних механізмах управління задні колеса також мають можливість спрямовувати рух[3].

## 1.1 Будова рульового керування

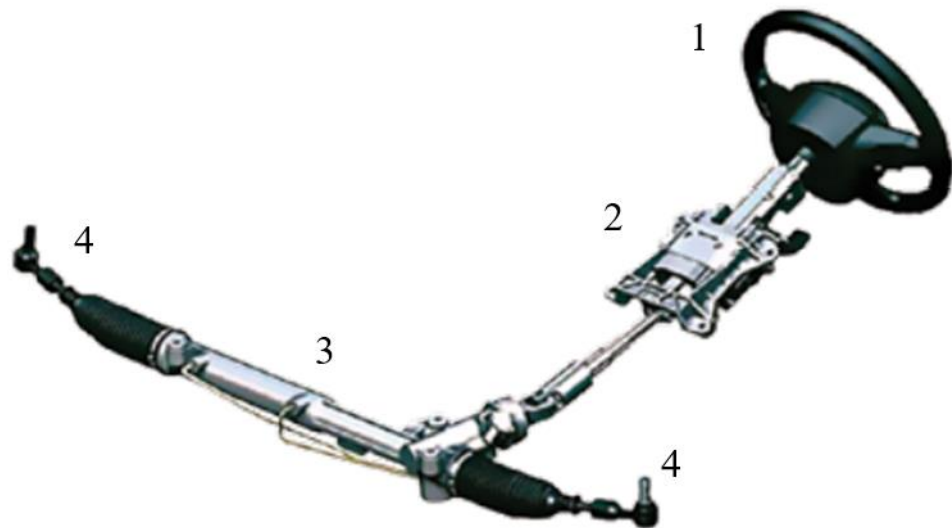
Основні елементи рульового управління рейкового типу, починаючи з дій водія і закінчуючи поворотом коліс, описані нижче/

**Рульове колесо.** Рульове колесо з'єднується з рульовою колонкою. Обертальний рух, здійснюваний водієм, передається рейці рульового механізму і перетворюється на лінійний рух у напрямку коліс автомобіля.

**Рульова колонка.** Рульова колонка є стрижнем, що з'єднує рульове колесо з рульовою рейкою або коробкою та передає обертальний момент, створений водієм. Її особливі параметри безпеки дозволяють зменшити ризик травмування водія у разі лобового зіткнення.

**Рульова рейка або коробка.** Рульова рейка є найважливішим елементом системи, оскільки відповідає за перетворення обертального руху, створеного рульовим колесом, на лінійний рух, який передається спочатку на тяги, потім на поворотні шарніри, задаючи колесам потрібний напрямок.

Рульова рейка є ідеальним механізмом для автомобілів завдяки простоті технічного обслуговування та низькій вартості виробництва. Для зменшення зусиль було винайдено систему підсилювача рульового управління, яка базується на гідравлічних або електромеханічних технологіях, що сприяють підвищенню безпеки та комфорту водіння.



1 – Кермо (рульове колесо); 2 – рульова колонка; 3 – рульова рейка;  
4 – рульові наконечники.

Рисунок 1.1 – Типовий вигляд рульового механізму

При роботі рульової рейки важливу роль відіграють такі параметри, як коефіцієнт редукції та радіус повороту автомобіля.

Редукція визначає необхідність повертати рульове колесо в більшій або меншій мірі для досягнення адекватного кута повороту коліс.

Радіус повороту: чим менший радіус повороту автомобіля, тим зручніше пересуватися містом або звивистими дорогами.

Розмір шасі та колісна база є важливими факторами у цьому контексті.

На сьогодні існують два основних типи підсилювачів рульового управління. Обрана технологія варіюється залежно від типу транспортного засобу та його призначення.



## 1.2 Види рульового керування

Найпоширеніша класифікація – за типами редуктора, встановленого на авто.

**1. Рейковий.** Популярний у легкових авто із незалежною підвіскою. Основними перевагами такого механізму є високий ККД, низька ціна, малі габарити, нескладна конструкція (саме кермо + рульова рейка, що приводить рейку в рух, середня та бічні тяги, наконечник). При цьому якщо їзда відбувається нерівною дорогою, удари чітко відчуються прямо на рульовому колесі. Серед частих несправностей – поява стукотів у рейці. Частково (але не повністю) проблема вирішується у рейкових моделях з демпферами, що монтуються між корпусами кермової рейки та тягами. Таким чином, вдається погасити вібрації. Підсилення рульового колеса може відбуватися механічним шляхом (старі авто) або за допомогою гідравліки та електроніки (актуально для сучасного транспорту)[4].

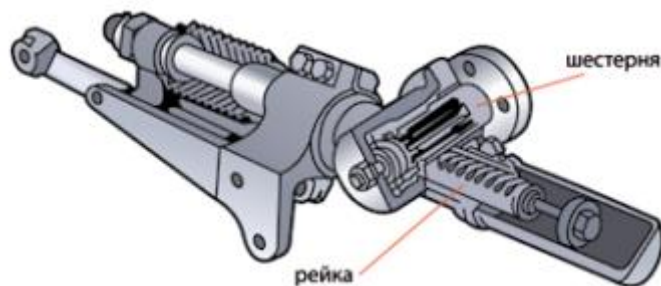


Рисунок 1.2 – Рейковий рульовий механізм

**2. Черв'ячний.** У конструкції поєднані вал, сошка (важіль), картер. На сошці закріплений ролик. У нижній області валу вмонтовано глобоїдний черв'як. Пара "черв'як-ролик" завжди знаходиться в зачепленні.

Коли водій повертає кермо, ролик починає рухатися зубцями черв'яка, в цей момент вал сошки також здійснює поворот. На колеса та привод направляється передача поступальних рухів. Автомобілі, оснащені черв'ячними механізмами, маневрені, немає проблем при їзді поганими дорогами. Найчастіше це рішення зустрічається у старих вантажівках, автобусах, а також у ряду легкових авто із залежною підвіскою[5].

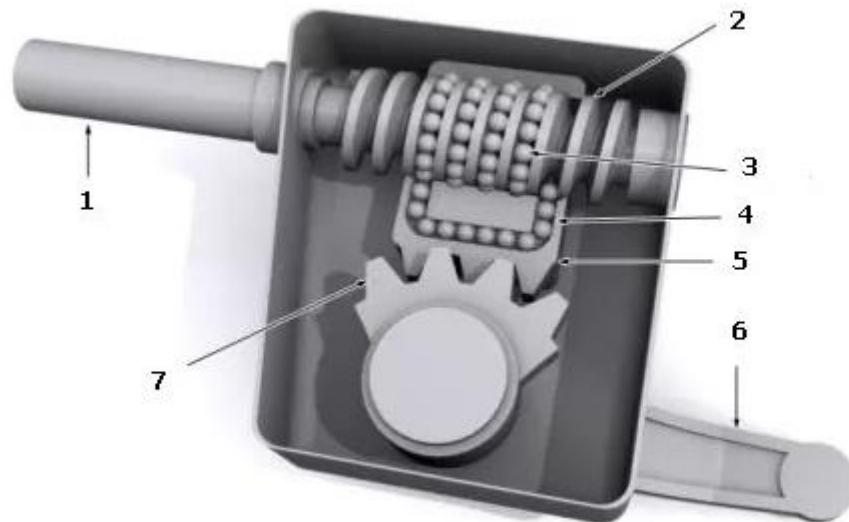


1 - Глободний черв'як; 2 - рульовий вал; 3 – ролик; 4 - регулятор рульового вала; 5 - регулятор люфта; 6 - ексцентрикова втулка.

Рисунок 1.3 – Черв'ячний рульовий механізм

Оскільки СРУ має велику кількість з'єднань, потрібне періодичне регулювання. Це не дуже зручно і так само є складним у виробництві.

**3. Гвинтовий.** Фактично це більш удосконалений варіант черв'ячного. Тут також є рейка. Але для запуску механізму потрібна налагоджена командна робота гвинт-гайка. У різьбленні знаходяться кульки. Тому фізично замість тертя під час запуску механізму починається кочення.



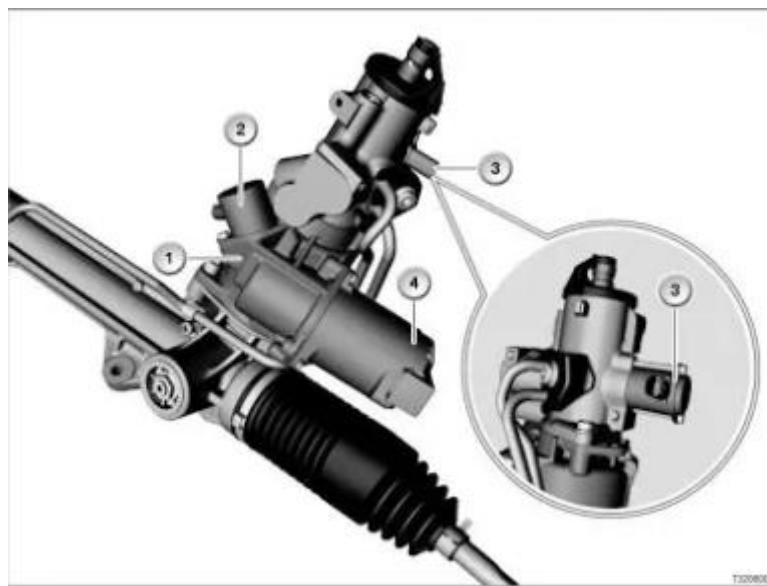
1 - Вал рульового колеса; 2 – гвинт; 3 - циркулюючі кульки; 4 - канал циркулюючих кульок; 5 - гайка з зубчастою рейкою; 6 - рульова сошка;  
7 - зубчастий сектор (секторна шестерня).

Рисунок 1.4 – Гвинтовий рульовий механізм.

При зміні напрямку гвинт зсуває гайку, рейка відхиляє сектор, також відхиляються сошка та кермові тяги. СРУ з механізмом типу «гвинт-кулькова гайка» тривалий час монтувалися переважно на автомобілях представницького класу, а також автобусах та вантажних автомобілях. Але сучасні виробники значно розширили спектр застосування такого механізму. Він функціональний, зручний і при цьому невибагливий в обслуговуванні[7].

Залежно від поставлених задач механізм рульового керування легкового або вантажного автомобіля може бути:

- **Активним (AFS або Active Front Steering) та динамічним.** Рішення дозволяє враховувати поточну швидкість і кут повороту на слизькій дорозі та коригувати залежно від них величину передавального відношення рульового механізму. У AFS коригування здійснюється за допомогою планетарного редуктора, динамічна СРУ – за допомогою хвильової передачі. Динамічний СРУ часто зустрічається на Audi, активний СРУ – на BMW[7,8].



1 – Механізм накладання кута повороту; 2 – блокіратор серводвигуна;  
3 – клапан сервотроніка; 4 – серводвигун із сенсором положення  
електродвигуна.

Рисунок 1.5 – Система AFS автомобіля BMW X5.

- **Адаптивний (DAS або Direct Adaptive Steering).** Рішення дозволяє легко маневрувати на низьких швидкостях (при парковці), а на більш високих швидкостях – їхати м'яко, не відчуваючи жорсткого зв'язку між кермом

автомобіля та його колесами. СРУ фактично підлаштовується під індивідуальні запити та умови руху. Досягти результату допомагають датчики зусилля на кермі та датчик кута повороту рульового колеса. Система активно ставиться на Infiniti.

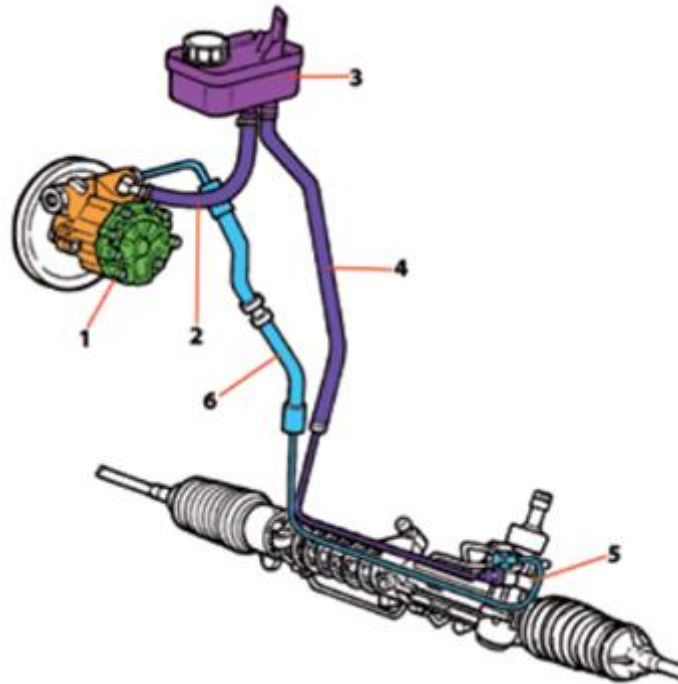
- **Servotwin.** Інтегроване електрогідравлічне рішення. Направлено на цілеспрямоване керування задньою віссю[9]. Орієнтовано на покращення маневрування важкого транспорту (вантажівок, автобусів із широкою колісною базою). Крутний момент СРУ підлаштовується до швидкості руху транспортного засобу, при раптових поривах вітру коригується положення керма. Розробником рішення є компанія Bosch. При цьому воно адаптивне для транспортних засобів різних виробників. У тому числі можна модернізувати раніше випущені автобуси та вантажівки. Servotwin має в своєму розпорядженні помічника руху в обраній смузі. Цей помічник уберігає від ризику відхилення від своєї смуги руху, а при повільному трафіку з такою системою СРУ легко підтримати безпечну відстань до транспортного засобу, що йде попереду.

Іноді Servotwin також називають адаптивним СРУ. Але все-таки частіше, коли говорять просто про адаптивне кермо, мають на увазі популярне рішення DAS для легкових авто, а Servotwin для комерційного транспорту виділяють в окрему категорію.

### **1.3 Гідравлічний підсилювач із механічним приводом**

Ця система підсилення рульового керування заснована на гідропідсиленні. Масляний насос механічно управляється допоміжним приводом двигуна, який передає крутний рух насосу, що створює потік оливи та тиск пропорційно швидкості двигуна.

Дана система сприяння управлінню підвищує комфорт водія під час маневрів під час паркування та руху на низькій швидкості. Гідравлічний насос включає клапани внутрішнього контролю тиску, даючи додаткову допомогу на низьких оборотах двигуна і зниження його при більш високих оборотах двигуна, коли допомога не потрібна.



1 – Гідронасос; 2 – трубка подачі рідини до насосу; 3 – резервуар гідравлічної рідини; 4 – зворотній патрубок; 5 – корпус рульового механізму; 6 – масляна трубка високого тиску.

Рисунок 1.6 – Гідравлічний підсилювач керма

Гідравлічна система складається із серії загальних елементів, серед яких: гідравлічний насос, система охолодження, розподільник або поворотний золотниковий клапан та гідроциліндр.

Завдання гідравлічного насоса - створення та подача потоку олії та тиску, необхідних для підсилення рульового механізму. Серед найбільш поширених насосів – лопатевий та шестеренний[10].

При приведенні в дію *лопатевого насоса* лопатки відкриваються під дією відцентрової сили і пристосовуються до овальної форми масляної камери. У камері зазвичай є вхідний та вихідний канали. Лопатки подають масло з всмоктуючого каналу і відправляють в вихідну камеру, за рахунок особливої форми якої відбувається зміна об'єму та виникає масляний тиск.

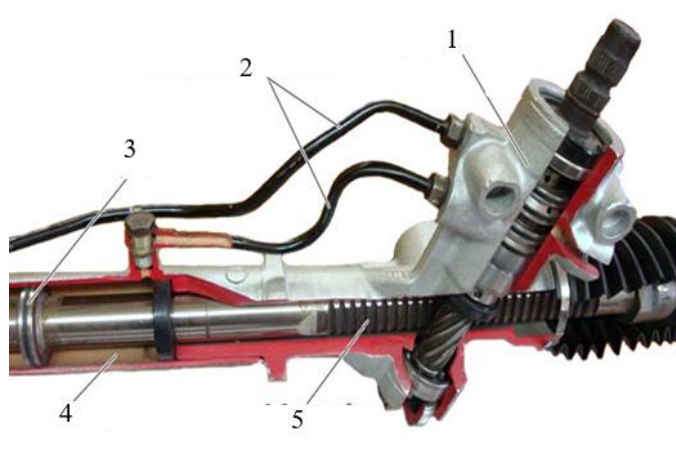


Рисунок 1.7 – Шестерневий (а) та лопатевий (б) гідронасоси.

Принцип роботи *шестерневого насосу* ґрунтується на приведенні шестерень у зачеплення, одна з них є привідною шестернею, а друга – веденою. Зачеплення обох зубчастих коліс веде до зміни об'єму та збільшення тиску олії. Рідина закачується і розподіляється по гідравлічній системі для створення підсилення рульової рейки. Усередині насосу знаходяться різні гідравлічні регулятори, які підтримують тиск масла на постійному рівні та допомагають не зменшувати підсилення, особливо при паркуванні[10].

*Гідророзподільник.* Рідина з насоса надходить у розподільник або золотниковий клапан, розташований у верхній частині рейки. Завдання даного клапана полягає в розподілі рідини в гідравлічному циліндрі, що зазвичай знаходиться всередині рейки. Якщо не потрібно підсилення, рідина повертається в резервуар.

Поршні гідропідсилювача рухаються по осі залежно від надходження та витрати рідини при появі сигналу про необхідність підсилення. Коли кермо знаходиться в стані спокою, масляний тиск рівномірно розподіляється між обома поршнями, скасовуючи різницю потенціалів. За відсутності підсилення невикористана рідина повертається у резервуар.



- 1 – гідророзподільник; 2 – гідраілічні трубопроводи; 3 – поршень; 4 –  
циліндр;  
5 – зубчата рейка.

Рисунок 1.8 – Золотниковий клапан та циліндр гідропідсилювача керма

Гідравлічний вузол управління підсилювача містить торсіон, один кінець якого з'єднаний з поворотним золотником, а інший з приводною шестернею і розподільчою гільзою.

При русі автомобіля по прямій поворотний золотник і розподільча гільза утримуються торсіоном у нейтральному положенні. Датчик підсилювача керма не виробляє сигнал швидкості повороту рульового колеса. Робоча рідина зливається в бачок, проходячи через вузол керування практично без підвищення тиску. Керуючі пази в золотнику і розподільчій гільзі знаходяться відносно один одного в такому положенні, при якому робоча рідина надходить в обидві порожнини силового циліндра і випливає з них в бачок через зливні пази в розподільчій гільзі.

При повороті вліво, в результаті закрутки торсіону відбувається поворот золотника щодо розподільчої гільзи. У цьому випадку керуючі пази золотника відкривають доступ робочої рідини праву порожнину силового циліндра. Робоча рідина, що надходить у силовий циліндр під тиском, підтримує дію рульового керування. Одночасно золотник перекриває доступ робочої рідини до лівої частини силового циліндра і відкриває злив з неї. Під впливом тиску правої порожнини силового циліндра робоча рідина витісняється з лівої порожнини в

зливний трубопровід. Після завершення процесу повороту керованих коліс торсіон повертає золотник і розподільну гільзу в нейтральне положення.

Сьогодні існують системи контролю тиску в гідравлічному підсилювачі рульового управління, які складаються з електромагнітного клапана, розташованого поруч із золотником. Завдання цього клапана полягає в зниженні тиску в одній з камер, що спричиняє витік рідини в зворотний контур. Таким чином, тиск постійно регулюється відповідно до даних, отриманих від блоку рульового управління[11].

#### **1.4 Електрогідравлічний підсилювач керма**

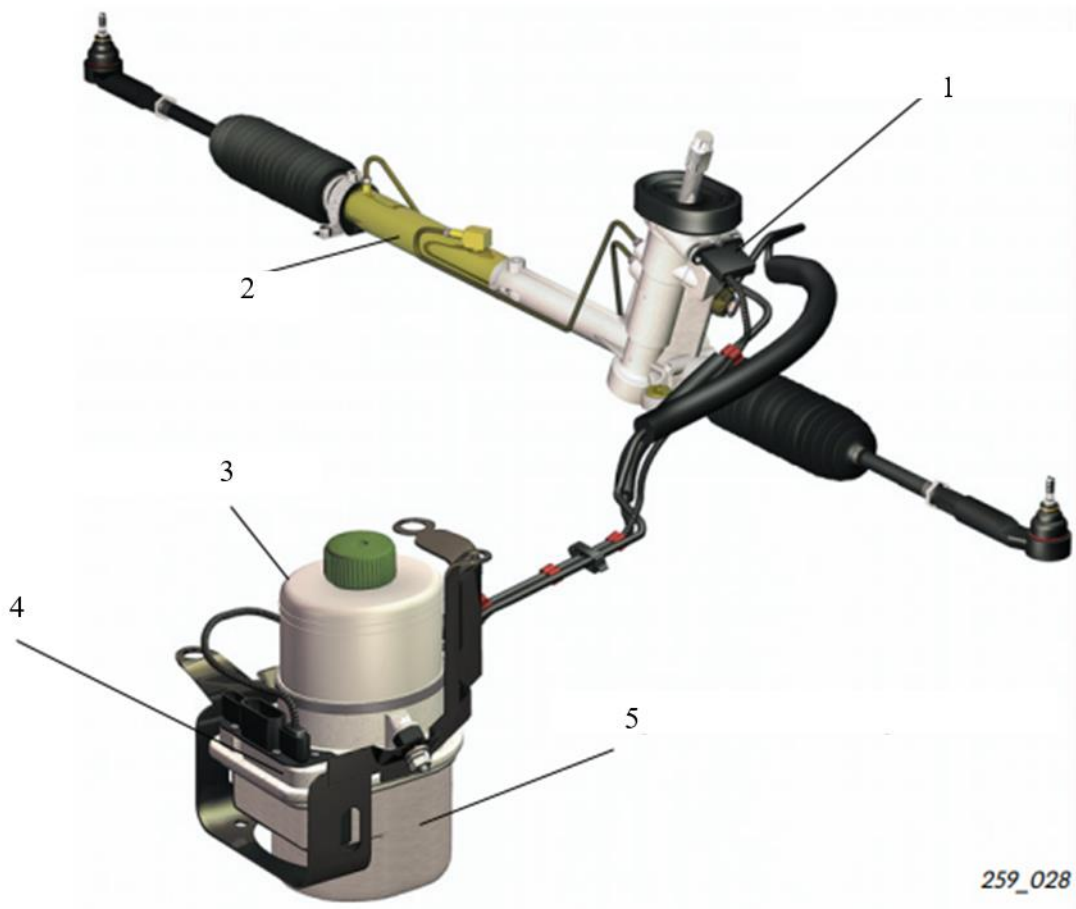
Потрібний для роботи підсилювача тиск робочої рідини створюється гідронасосом. У відомих підсилювачах традиційної конструкції привід цього насоса здійснюється безпосередньо від двигуна автомобіля. При цьому частина потужності двигуна постійно витрачається на привід гідронасоса. Максимальне підсилення керма потрібне при маневруванні автомобіля, але при цьому вал двигуна зазвичай обертається з мінімальною частотою. Насос розраховується на потужність, необхідну в цьому випадку. Чим швидше здійснюється поворот керованих коліс, тим більшою має бути частота обертання вала насоса і відповідний їй витрата робочої рідини. При високих частотах обертання вала двигуна автомобіля надлишкова робоча рідина зливається через байпасний клапан.

У електрогідравлічній системі зусилля водія на рульовому колесі також підтримується за рахунок тиску робочої рідини, але останнє створюється шестеренним насосом, який приводиться від електродвигуна, тобто незалежно від двигуна автомобіля[12]. Регулювання гідравлічного контуру аналогічне йому у підсилювачів традиційної конструкції.

Нововведенням є регулювання підсилювача керма залежно від швидкості повороту рульового колеса і швидкості руху автомобіля. Для цього в корпусі поворотного золотника додатково встановлений датчик підсилювача керма (див. рис. нижче), який передає сигнал, що відповідає швидкості повороту рульового колеса, на електронний блок управління. Цей сигнал передається на блок управління безпосередньо через кабель датчика. Крім того, в блоку управління



підсилювачем обробляється інформація про швидкість автомобіля, яка надходить в нього через шину даних CAN[12].



1 – Датчик крутного моменту; 2 – рульова рейка; 3 – резервуар для гідравлічної рідини; 4 – блок керування; 5 – електрогідронасос.

Рисунок 1.9 – Загальна будова електрогідравлічного підсилювача керма.

Порівнюючи з традиційним підсилювачем керма, електрогідравлічний підсилювач має низку переваг:

Зниження енергоспоживання до 85%. Це досягається завдяки більш ефективному використанню енергії.

Менший вплив на довкілля. Зменшення енергоспоживання та кількості робочої рідини в гідравлічній системі сприяє зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Зниження витрати палива. В реальних умовах експлуатації витрата палива знижується приблизно на 0,2 літра на 100 кілометрів пробігу.

Підвищення активної безпеки. Зменшення зусиль на рульовому колесі при маневруванні та забезпечення більш прямого управління на високих швидкостях підвищують безпеку руху.

При русі по автомагістралі традиційний підсилювач керма споживає значно більше енергії через високу частоту обертання вала двигуна. Це відбувається тому, що при невеликих кутах повороту керма і високих обертах двигуна насос підсилювача подає надлишкову кількість робочої рідини, яку необхідно скидати через перепускний клапан.

Найбільше зниження енергоспоживання електрогідравлічний підсилювач забезпечує під час руху по автомагістралі з невеликими кутами повороту керма та узгодженою зі швидкістю автомобіля подачею робочої рідини насосом. Навіть при русі в міських умовах спостерігається значне зниження енергоспоживання[13].

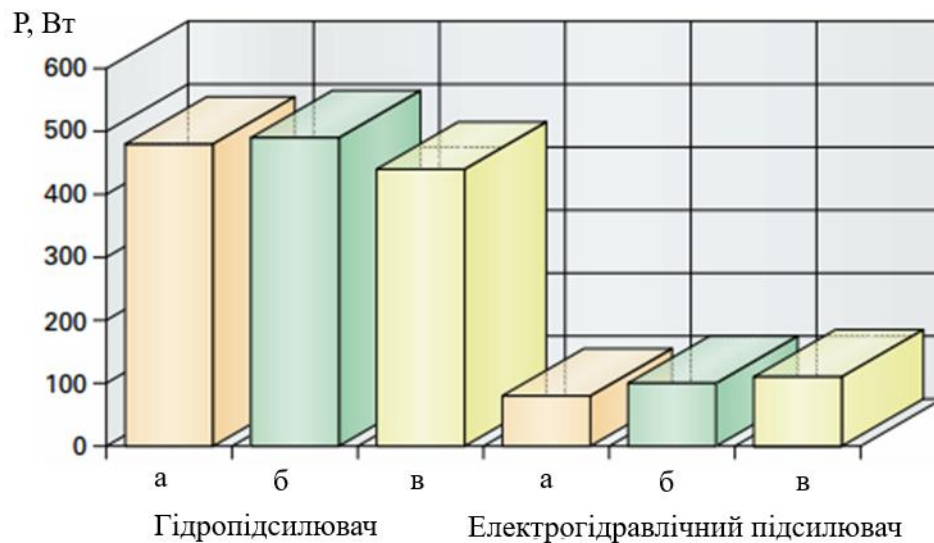


Рисунок 1.10 – Середня споживана потужність приводу (P) гідравлічного та електрогідравлічного підсилювачів керма при режимах їзди: а – по автомагістралі, б – по дорогах місцевого значення, в – по місту.

Електрогідравлічний підсилювач керма адаптує свою роботу залежно від швидкості повороту керма та швидкості руху автомобіля.

Насосний агрегат підсилювача складається з шестеренного насоса та електродвигуна. На відміну від традиційних підсилювачів, які використовують лопатеві насоси, тут застосовується шестеренний насос, що приводиться в дію

не від двигуна автомобіля, а від вбудованого електродвигуна. Електродвигун працює лише за умови увімкненого запалювання та працюючого двигуна автомобіля.

Блок управління підсилювачем отримує сигнали від датчиків швидкості повороту керма, швидкості автомобіля та частоти обертання вала двигуна. На основі цієї інформації блок управління змінює частоту обертання електродвигуна шестеренного насоса, а отже, і його продуктивність або об'ємну витрату робочої рідини.

Підсилювач оснащений захистом, який відключає насос у разі несправності системи, виходу його з ладу або зіткнення автомобіля з перешкодою. Для відновлення роботи захисту після зіткнення необхідний діагностичний прилад. В інших випадках достатньо вимкнути запалювання та знову запустити двигун. Якщо після перегріву агрегату його не вдається відновити, необхідно перевірити бортову мережу та насосний агрегат.

Насосний агрегат виконаний у вигляді єдиного блоку. Кронштейн насосного агрегату закріплений болтами на лонжероні між переднім бампером і колісною нішею. Насосний агрегат підвішений до кронштейну за допомогою пружних гумових елементів. До складу насосного агрегату входять:

- гідравлічний модуль з зубчастим насосом, редукційним клапаном і електродвигуном,
- бачок для робочої рідини,
- блок керування підсилювачем керма. Насосний агрегат не потребує якогось обслуговування. Його деталі змащуються робочою рідиною. Розбирати насосний агрегат не слід: ремонту він не підлягає. Насос пов'язаний з кермовим механізмом за допомогою нагнітального шлангу. Зливний трубопровід з'єднаний з бачком для робочої рідини.

Датчик підсилювача керма розташований у верхній частині редуктора рульового механізму і охоплює його вхідний вал. Він служить для вимірювання кута повороту керма, який використовується для розрахунку швидкості його повороту. Однак він не дозволяє визначити абсолютне значення кута повороту (кут повороту керма пропорційний куту повороту керованих коліс).

За сигналом датчика блок керування підсилювачем розпізнає повороти керма. Чим швидше повертається кермо, тим вищою має бути частота обертання насоса підсилювача та більшою його продуктивність (незалежно від швидкості автомобіля).

У разі виходу датчика з ладу підсилювач переходить на роботу за аварійною програмою. При цьому функції підсилювача зберігаються, але зусилля на кермі зростає.

Датчик контролюється системою бортової діагностики. Несправності реєструються в пам'яті блока керування підсилювачем керма.

### 1.5 Електромеханічний підсилювач керма

Основними компонентами рульового управління з електромеханічним підсилювачем є: кермо, підкермові перемикачі з датчиком кута повороту керма (G85), кермова колонка, датчик крутного моменту на кермі (J269), кермовий механізм, електродвигун підсилювача (V187), блок керування підсилювачем рульового механізму (J500)[15].



1 - Рульове колесо; 2 - рульова колонка; 3 - карданний вал; 4 - датчик крутного моменту на рульовому колесі; 5 - електропідсилювач керма; 6 - рульовий механізм; 7 - рульова тяга; 8 - наконечник рульової тяги з шаровим шарніром

Рисунок 1.11 – Електромеханічний підсилювач керма.

Електромеханічний підсилювач може успішно використовуватись замість гідропідсилювача рульового механізму. Відсутність гідравлічної рідини у його приводі виключає можливість забруднення навколишнього середовища. Зараз застосовуваний електромеханічний підсилювач вбудований у кермовий механізм з двома приводними шестернями. Зусилля з вала рульового управління і з підсилювача передаються на рейку через окремі шестерні. Електродвигун підсилювача керується системою Servotronic залежно від дій водія та умов руху автомобіля. Електромеханічний підсилювач активно підтримує повернення керованих коліс у середнє положення. Ця функція називається "активним самоцентруванням" коліс[13]. Завдяки її дії водій краще відчуває середнє положення рульового управління, це також полегшує водіння автомобіля прямо під впливом різних зовнішніх сил. Якщо під час руху прямо на автомобіль діє боковий вітер або поперечне зусилля, викликане ухилом дорожнього полотна, підсилювач створює постійний підтримуючий момент, який звільняє водія від необхідності створювати реактивні зусилля на кермі.

Основні переваги електромеханічного підсилювача порівняно з гідравлічним пояснюються самим відсутністю гідравлічної системи. Ці переваги виражаються в наступному[15]:

- Виключені звичні для гідросистем такі компоненти, як насос, шланги, бачок для гідравлічної рідини і фільтр.
- Гідравлічна рідина не використовується.
- Зменшені розміри займаного простору.
- Знижений рівень шуму.
- Зменшені витрати енергії на привід.
- Відсутня складна система шлангів і кабелів.

Усі силові компоненти підсилювача розташовані на рульовому механізмі і діють безпосередньо на його деталі. Витрати енергії на привід електромеханічного підсилювача значно нижчі, ніж на привід гідропідсилювача. Це пояснюється його включенням тільки за потреби, тоді як гідравлічний підсилювач вимагає постійної прокачки робочої рідини. Тому електромеханічний підсилювач дозволяє знизити витрати пального.

Висока інформативність рульового управління за різних умов руху досягається внаслідок:

- активного самоцентрування керованих коліс у середнє положення,
- безпосередньої, але плавної реакції підсилювача на дії водія,
- значного зменшення зусиль, що передаються на кермо під час руху по нерівностях дороги.

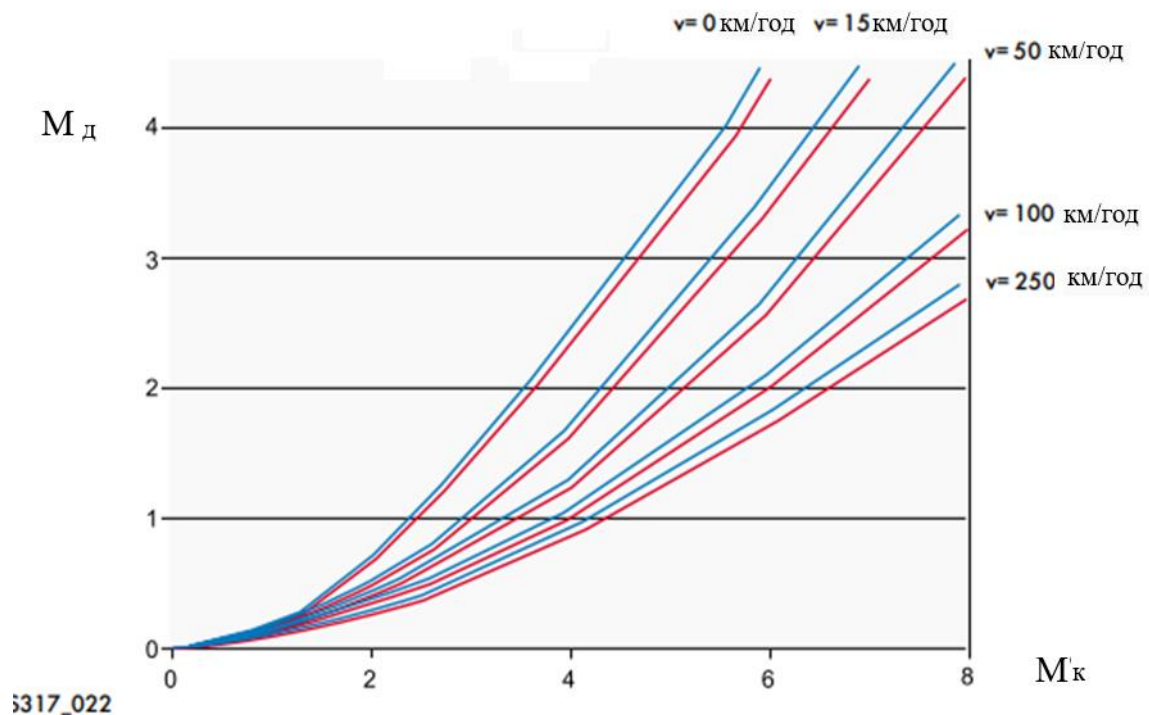
У рульового механізму з електромеханічним підсилювачем і двома приводними шестернями зусилля, необхідне для повороту коліс автомобіля, складається із зусиль, які передаються на рейку обома шестернями. При цьому на одну шестерню передається крутний момент, створений водієм на рульовому колесі, а на іншу — крутний момент електродвигуна підсилювача після його перетворення в черв'ячній передачі.

Рульовий механізм містить датчик крутного моменту на рульовому колесі, торсіон, приводні шестерні підсилювача і вала рульового керування, черв'ячну передачу та електродвигун із блоком керування. Основною деталлю рульового механізму з електромеханічним підсилювачем є рейка із зубцями на двох ділянках. Оснащений блоком керування і датчиком електродвигун підсилювача з'єднаний із окремою шестернею рульового механізму, тоді як інша шестерня забезпечує механічний зв'язок рульового колеса з рейкою. Завдяки цьому рульове керування повністю зберігає працездатність у разі виходу з ладу електродвигуна підсилювача.

Багатопараметрична характеристика складається з окремих характеристик для п'яти різних швидкостей автомобіля (зокрема для 0, 15, 50, 100 і 250 км/год). Кожна характеристика відображає залежність крутного моменту, створюваного двигуном підсилювача, від крутного моменту на кермі. Керування підсилювачем здійснюється відповідно до багатопараметричної характеристики, яка зберігається в постійній пам'яті блока управління. Всього в цій пам'яті збережено 16 багатопараметричних характеристик, 8 з яких використовуються, наприклад, для автомобіля Golf моделі 2004 року. Активізація тієї чи іншої характеристики здійснюється на заводі. Вибір характеристик здійснюється в залежності від встановлених вимог, наприклад, за масою автомобіля. Активізацію конкретної

характеристики можна здійснювати також за допомогою діагностичного комплексу. Ця операція проводиться, наприклад, при заміні блока управління підсилювачем або всього рульового механізму[15].

Підсилювач рульового механізму починає діяти при повороті керма водієм. Діючий на кермо крутний момент передається на кермовий механізм через торсіон, який закручується відповідно до величини моменту. Закрутка торсіона вимірюється за допомогою датчика G269, сигнал з якого надходить у блок управління підсилювачем J500.



$M_d$  – момент, що створює електродвигун,  $M_k$  – крутний момент на рульовому колесі.

Рисунок 1.12 – Залежність крутного моменту, що створює електродвигун підсилювача від крутного моменту на кермі.

Поточний кут повороту керма вимірюється датчиком G85, а швидкість його обертання визначається за частотою обертання ротора двигуна підсилювача, вимірюваною за допомогою встановленого на цьому двигуні датчика.

Блок управління підсилювачем розраховує крутний момент двигуна підсилювача за величинами моменту на кермі, швидкістю автомобіля, частотою обертання колінчатого вала, кутом і швидкістю повороту керма. При цьому

враховуються збережені в пам'яті приладу характеристики. За результатами розрахунку блок управління змінює крутний момент двигуна підсилювача.

Створений двигуном підсилювача крутний момент передається через черв'ячну передачу на приводну шестерню, яка діє на рейку рульового механізму паралельно шестерні, приводжуваній від керма.

Таким чином, переміщення рейки відбувається під дією суми зусиль, створюваних в результаті перетворення крутного моменту двигуна підсилювача і крутного моменту, що переється з керма.

Розглянемо дію даного рульового механізму при повороті керма.

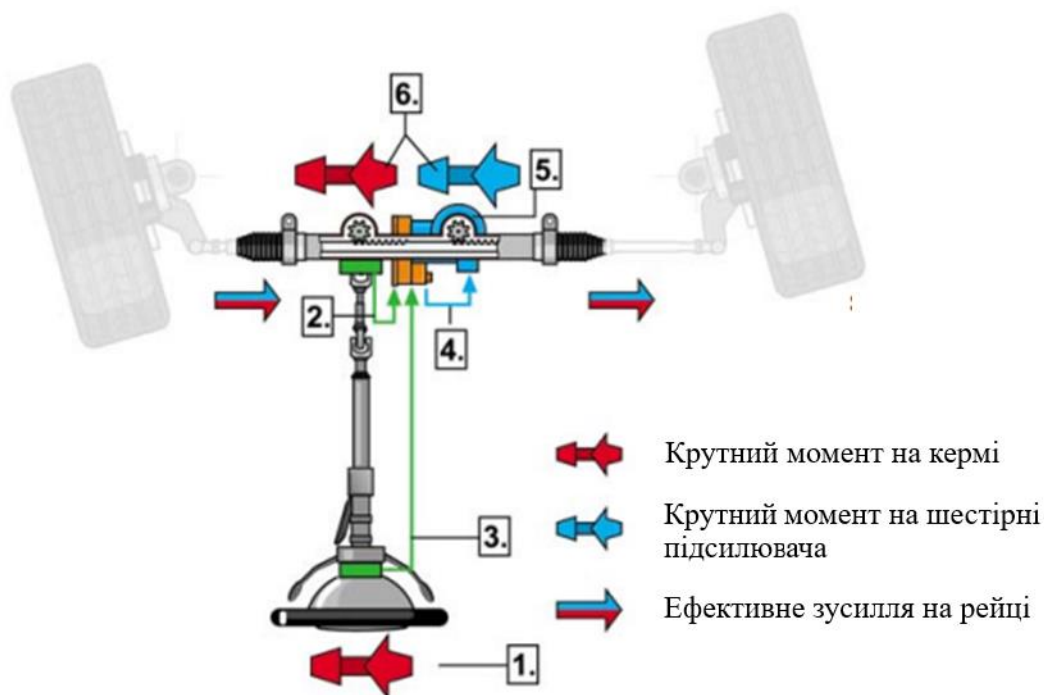


Рисунок 1.13 – Дія рульового механізму при повороті керма.

1. Підсилювач рульового механізму починає працювати при повороті рульового колеса водієм.
2. Крутний момент, що діє на рульове колесо, передається на рульовий механізм через торсіон, який закручується залежно від величини моменту. Закрутка торсіону вимірюється за допомогою датчика G269, сигнал з якого надходить до блоку керування підсилювача J500.
3. Поточний кут повороту рульового колеса вимірюється датчиком G85, а швидкість його обертання визначається за частотою обертання ротора двигуна підсилювача, яку вимірює встановлений на цьому двигуні датчик.



4. Блок керування підсилювача розраховує крутний момент двигуна підсилювача за значеннями моменту на рульовому колесі, швидкості автомобіля, частоти обертання колінчастого вала, кута і швидкості повороту рульового колеса. При цьому враховуються характеристики, збережені в пам'яті пристрою. За результатами розрахунків блок керування змінює крутний момент двигуна підсилювача.
5. Створюваний двигуном підсилювача крутний момент передається через черв'ячну передачу на приводну шестерню, яка впливає на рейку рульового механізму паралельно шестерні, що приводиться від рульового колеса.
6. Таким чином, переміщення рейки відбувається під дією суми зусиль, створюваних у результаті перетворення крутного моменту двигуна підсилювача і крутного моменту, що передається з рульового колеса.

Слід відмітити, що величина підсилення рульового механізму змінюється згідно багатопараметрової характеристики, яку ми приводили вище, тобто в залежності від зусилля на кермі та швидкості руху автомобіля.

Розглянемо також принцип активного повороту коліс в нульове положення, який реалізовано в електромеханічному підсилювачі рульового механізму. (рис.1.14)

1. Якщо під час руху автомобіля на повороті водій зменшує зусилля, прикладені до рульового колеса, торсіон розкручується.
2. Блок керування розраховує швидкість повернення коліс автомобіля в середнє положення залежно від зменшення моменту на рульовому колесі, кута і швидкості його повороту. Розраховане значення порівнюється з фактичним значенням швидкості повернення коліс, а результат порівняння слугує основою для визначення моменту, необхідного для повернення коліс у середнє положення.

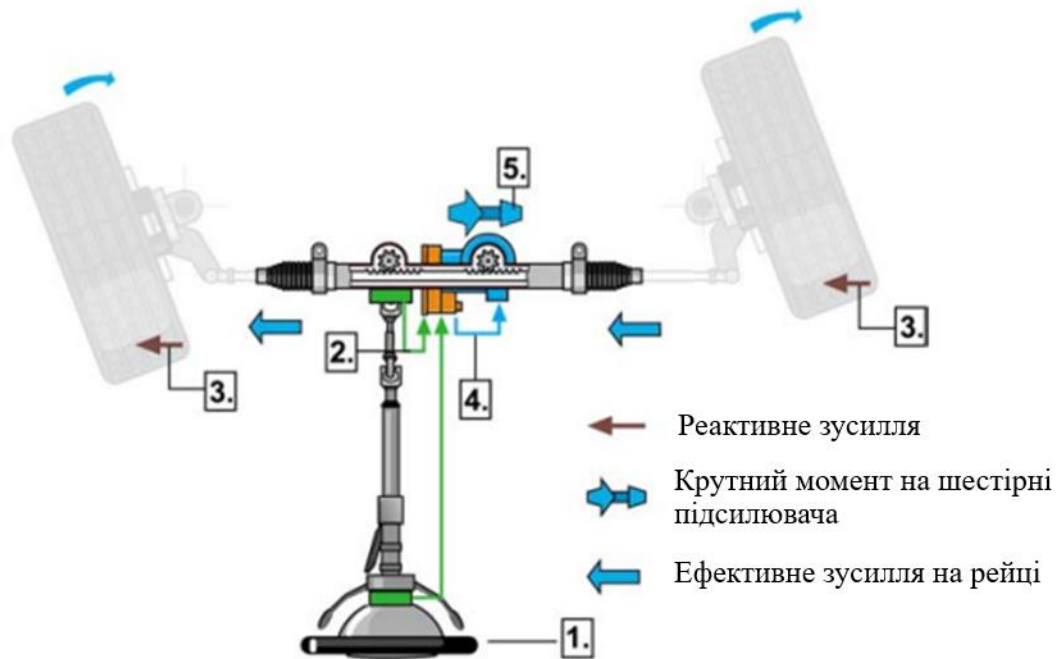


Рисунок 1.14 – Активне повернення коліс в нульове положення.

3. Геометрія підвіски зазвичай така, що при повороті керованих коліс автомобіля виникають реактивні зусилля, які прагнуть повернути їх у початкове середнє положення. Проте ці зусилля зазвичай настільки малі, що не можуть подолати сили тертя в рульовому приводі та в підвісці. Тому самовстановлення керованих коліс у середнє положення не відбувається.
4. Блок керування підсилювача розраховує необхідний для повернення коліс крутний момент двигуна підсилювача за значеннями моменту на рульовому колесі, швидкості автомобіля, частоти обертання колінчастого вала, кута і швидкості повороту рульового колеса. При цьому враховуються характеристики, збережені в пам'яті пристрою. За результатами розрахунків блок керування змінює крутний момент двигуна підсилювача.
5. У результаті двигун підсилювача забезпечує повернення керованих коліс у середнє положення.

Ще однією особливістю даного типу підсилювачів є можливість корекції середнього положення керованих коліс. Корекція середнього положення керованих коліс — це функція, яка реалізується завдяки здатності рульового керування до активного самовстановлення. При цьому підсилювач створює

крутний момент, необхідний для утримання коліс автомобіля в положенні, за якого автомобіль рухається прямолінійно. Розрізняють режими короткочасної та довготривалої корекції середнього положення керованих коліс.

Підсилювач працює в режимі довготривалої корекції, якщо необхідно постійно усувати відхилення автомобіля від прямолінійного руху, наприклад, після заміни літніх шин на вживані зимові шини.

При роботі в режимі короткочасної корекції підсилювач дозволяє утримувати автомобіль на прямолінійному шляху при короткочасному впливі на автомобіль зовнішніх сил. Завдяки цьому полегшується керування автомобілем, наприклад, при дії бокового вітру[5,15].

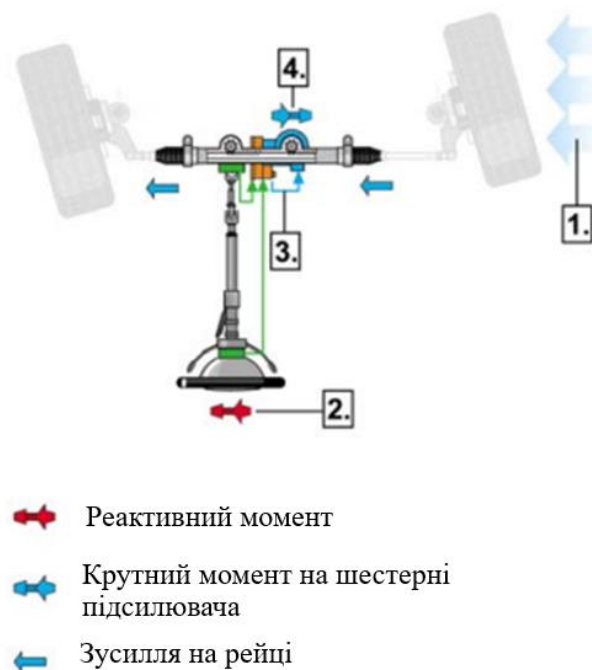


Рисунок 1.15 – Короткочасна корекція середнього положення коліс.

1. На автомобіль діє постійна зовнішня сила, викликана, наприклад, боковим вітром.
2. Щоб утримати автомобіль на прямолінійному шляху, водій змушений повертати рульове колесо з середнього положення.
3. Блок керування підсилювачем розраховує крутний момент двигуна підсилювача, необхідний для утримання автомобіля на прямолінійному шляху, за величинами моменту на рульовому колесі, швидкості автомобіля, частоти обертання колінчастого вала, кута і швидкості

повороту рульового колеса. При цьому враховуються характеристики, збережені в пам'яті пристрою.

4. У результаті двигун підсилювача допомагає повернути автомобіль на прямолінійний курс. При цьому водій більше не повинен "підрулювати".

Отже, можна стверджувати, що електромеханічний підсилювач керма є суттєво кращим по можливостях в порівнянні із гідравлічними та електрогідравлічними підсилювачами керма.

## 1.6 Динамічне рульове керування

Система динамічного рульового керування дозволила усунути недоліки, властиві традиційним рульовим механізмам з постійним передаточним відношенням. Передаточне відношення нового рульового механізму змінюється залежно від швидкості руху автомобіля та кута повороту керма. При паркуванні, їзді по звивистій дорозі місцевого значення чи швидкісному руху по автомагістралі — динамічне рульове керування в кожній ситуації забезпечує оптимальне передаточне відношення рульового механізму.

Крім того, в певних умовах руху динамічне рульове керування бере участь у стабілізації автомобіля системою ESP шляхом підрулювання керованих коліс. Таким чином, ця нова система з електронним керуванням забезпечує не лише підвищення комфорту руху та керування, але й значно підвищує активну безпеку автомобіля.

У звичайних системах рульового керування існує прямий механічний зв'язок між кермом і рульовим механізмом. Тому між кутом повороту керма і кутом повороту керованих коліс існує чітко встановлене співвідношення. Змінюючи геометрію зубчатого зачеплення рейка — вал-шестерня, можна отримати рульові механізми з різним передаточним відношенням.

У рульове керування вбудований сумарний механізм (виконавчий механізм, який сумує кут повороту керма і кут підрулювання). Механічний зв'язок між кермом і керованими колесами в будь-якій ситуації здійснюється через сумарний механізм.

У разі серйозних несправностей цієї системи блокується вал електродвигуна сумарного механізму. Це запобігає некоректній роботі системи.

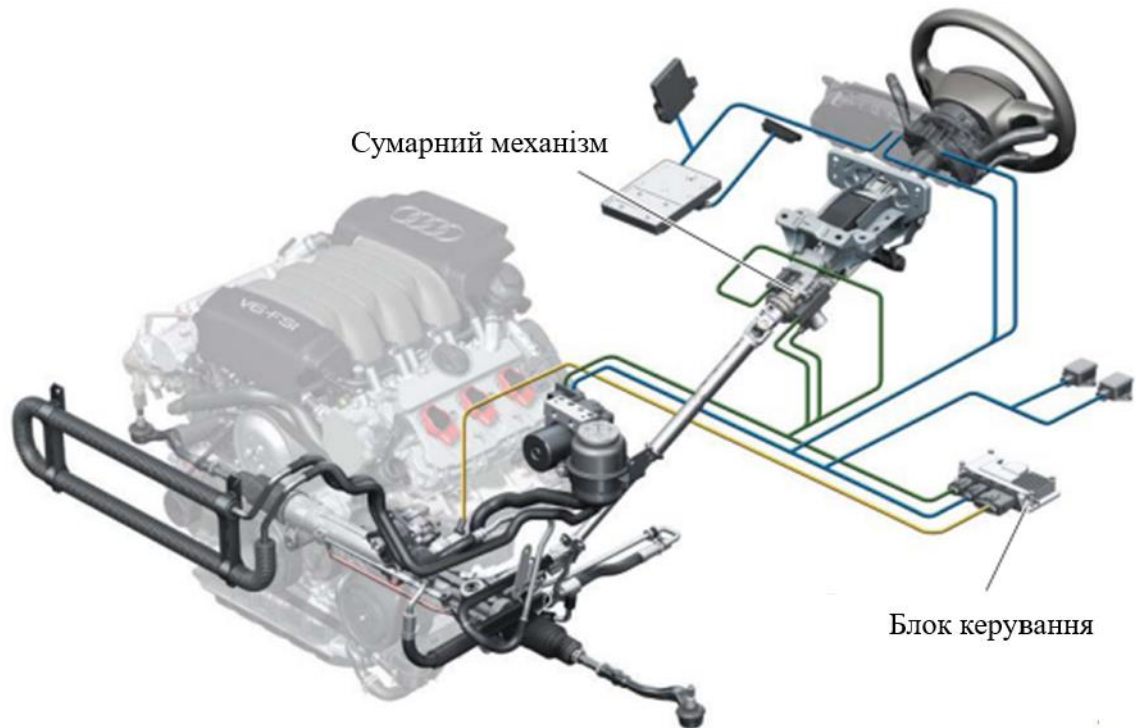


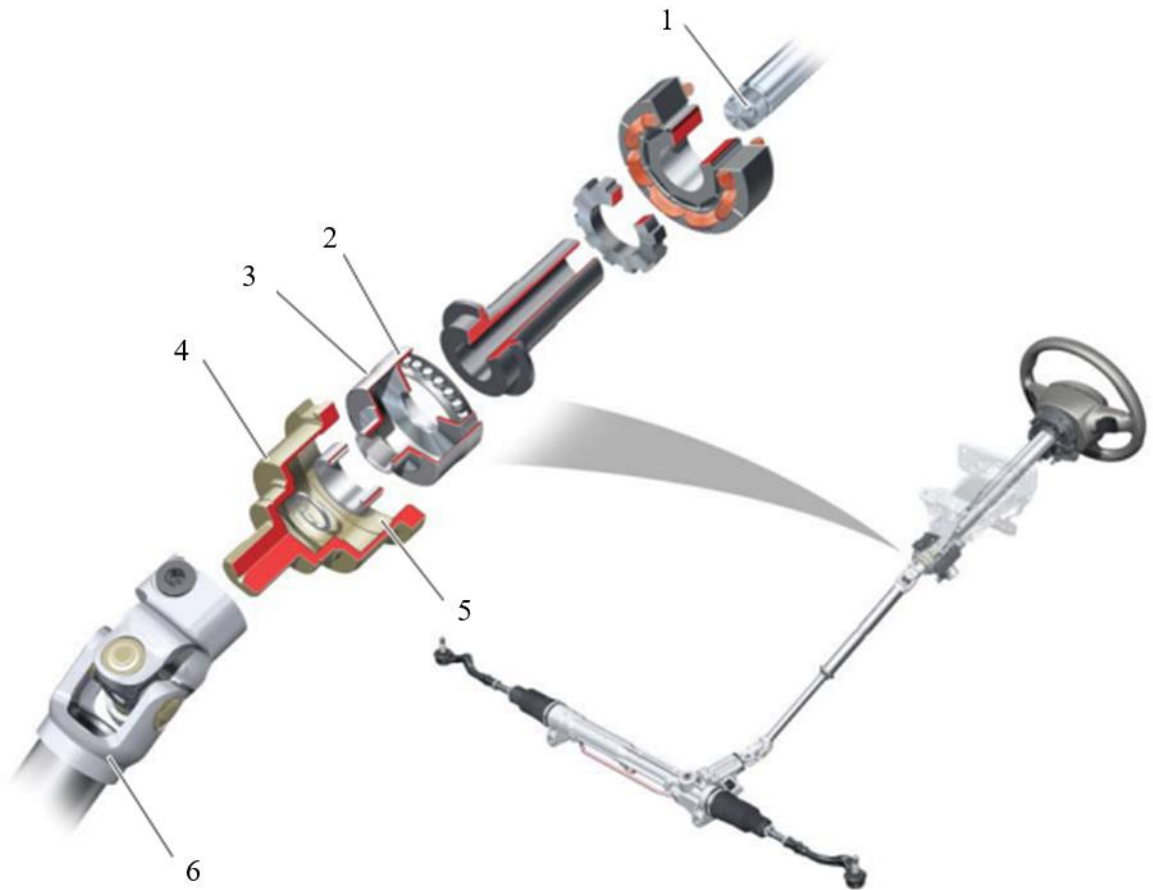
Рисунок 1.16 – Динамічне рульове керування.

Необхідність збільшення або зменшення кута повороту керованих коліс визначається блоком управління. Блок управління керує електродвигуном, який приводить один з елементів сумарного механізму. Кут повороту коліс дорівнює сумі кута підрулювання, заданого сумарним механізмом, і кута повороту керма, заданого водієм. Сумарний механізм дозволяє:

- збільшити кут повороту коліс, заданий водієм поворотом керма (підрулювання в напрямку повороту);
- зменшити кут повороту коліс, заданий водієм поворотом керма (підрулювання в протилежному напрямку);
- повернути колеса без повороту керма водієм[16].

Опишемо принцип дії даного типу системи рульового керування.

Виконавчий механізм (сумарний механізм) призначений для корекції кута повороту керованих коліс. Він призводить до обертання вал-шестерню рульового механізму. Виконавчий механізм являє собою хвильову передачу, один з елементів якої приводиться електродвигуном. Характерною особливістю цього механізму є перетворення високої частоти обертання (наприклад, електродвигуна) на дуже низьку.



1 – Рульовий вал, що з'єднує рульове колесо і гнучкий стакан;  
 2 – зовнішній зубчастий вінець; 3 – гнучкий стакан; 4 – колесо з внутрішнім  
 зубчастим вінцем; 5 – внутрішній зубчастий вінець; 6 – нижня частина  
 рульового вала, що з'єднує колесо з внутрішнім зубчастим вінцем і вал-  
 шестерню рульового механізму.

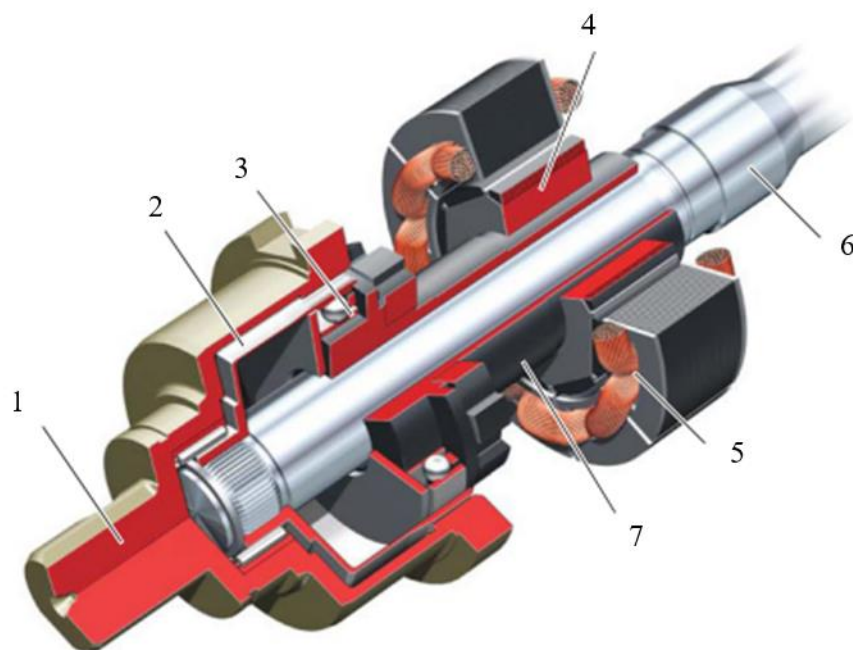
Рисунок 1.17 – Виконавчий механізм динамічного підсилювача керма.

Загальний принцип роботи полягає в тому, що в зачепленні знаходяться дві шестерні з різною кількістю зубів. У механізмі, застосованому для створення динамічного рульового управління, електродвигун приводить у рух шестерню зі 100 зубами, яка особливим чином входить у зачеплення з шестернею, що має 102 зуба.

Рульовий вал, безпосередньо пов'язаний з кермом, при динамічному рульовому управлінні також пов'язаний з валом-шестернею рульового механізму. Зв'язок здійснюється через хвильовий редуктор. Гнучкий стакан посаджений на шліци верхньої частини рульового вала (з якою також безпосередньо пов'язане кермо). Гнучкий стакан є чашоподібною деталлю з

тонкими і тому гнучкими, пружними деформованими стінками. На його корпусі є зовнішній зубчастий вінець зі 100 зубами.

Гнучкий стакан входить у зачеплення з колесом з внутрішнім зубчастим вінцем зі 102 зубами. Це колесо жорстко пов'язане з нижньою частиною рульового вала і через нього з валом-шестернею. При повороті керма гнучкий стакан і втулка обертаються разом, оскільки пов'язані зубчастим з'єднанням (з'єднання працює як шліцеве типу вал-маточина). При такій схемі роботи рульовий механізм працює звичайним чином (без зміни передаточного відношення)[16].



1 – Колесо з внутрішнім зубчастим вінцем; 2 – гнучкий стакан;  
3 – внутрішнє кільце підшипника; 4 – ротор електродвигуна; 5 – статор електродвигуна; 6 – трубчатий вал; 7 – рульовий вал.

Рисунок 1.18 – Сумарний механізм

У корпусі виконавчого механізму розташований порожнистий вал. Порожнистий вал обертається незалежно від верхньої частини рульового вала, на яку він надітий. Порожнистий вал приводиться в обертання електродвигуном. Для цього ротор електродвигуна жорстко закріплений на одному кінці порожнистого вала. На інший кінець порожнистого вала насаджене внутрішнє кільце підшипника кочення. Внутрішнє кільце підшипника виконане не зовсім

круглим. Воно формує ексцентричну (овальну) бігову доріжку для елементів кочення — кульок.

Зовнішнє кільце підшипника є гнучкою сталеву обіймою. Ексцентрична форма внутрішнього кільця підшипника передається зовнішньому кільцю (разом вони утворюють так званий генератор хвиль збурення). На зовнішнє кільце підшипника з легким натягом посаджено гнучкий стакан. Тонкі стінки гнучкого стакана повторюють ексцентричну форму підшипника.

Зовнішній зубчастий вінець гнучкого стакана через свій ексцентриситет знаходиться не по всій своїй поверхні в зачепленні з круглим внутрішнім зубчастим вінцем колеса.

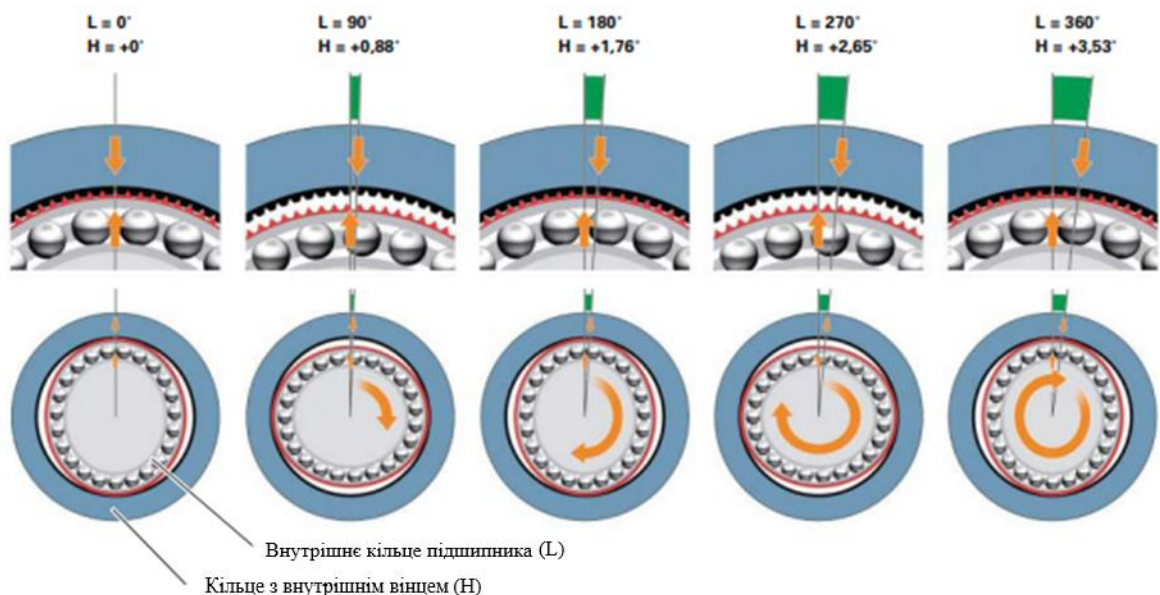


Рисунок 1.19 – Принцип дії хвильового редуктора.

Працюючий електродвигун приводить в обертання порожнистий вал. Разом з ним обертається внутрішнє кільце підшипника кочення, що має ексцентричну форму. Через різну кількість зубів на вінцях гнучкого стакана і колеса з внутрішнім вінцем, зуби вінця гнучкого стакана трохи зміщуються відносно западин вінця колеса. Зуб вінця гнучкого стакана зміщується до бічної поверхні зуба внутрішнього вінця колеса.

Внаслідок цього на бічну поверхню зуба внутрішнього вінця колеса діє зусилля, що приводить до мінімального повороту колеса. Обертання генератора хвиль деформації (підшипника з ексцентриситетом) під час роботи



електродвигуна послідовно вводить у зачеплення всі зуби вінця гнучкого стакану. Виникає безперервний обертальний рух колеса з внутрішнім вінцем і пов'язаною з нею вал-шестернею. Змінюється кут повороту керованих коліс. Досягне при цьому зниження числа обертів електродвигуна (відносно числа обертів вал-шестерні) становить приблизно 50:1.

Для забезпечення надійного рівня захисту при пошкодженнях і відмовах системи передбачена механічна блокування механізму динамічного рульового управління. Блокування є нормально включеним (діє, поки не запущений двигун автомобіля).

Блок управління розраховує необхідний кут підрулювання для зміни передаточного відношення рульового механізму. Основними параметрами для проведення розрахунку є швидкість руху і заданий водієм кут повороту керма. Регулювання проводиться за відсутності несправностей у системі.

Відповідно до математичної моделі руху автомобіля блок управління ESP розраховує коригувальні параметри кута повороту коліс для підтримання стійкості на заданому водієм курсі. Ці коригувальні величини передаються блоку управління підсилювачем по шинам CAN (комбінація приладів — ходова частина)[16].

Блок управління сумує коригувальну величину кута з розрахованим кутом підрулювання. Таким чином, колеса повертаються на кут з урахуванням цієї коригувальної величини.

Система безпеки контролює правильність роботи блоку управління. Діагностуються всі несправності, які можуть призвести до неправильної роботи виконавчого механізму (що впливає на безпеку руху). Залежно від характеру несправності можливе як відключення лише деяких функцій системи, так і її повне відключення.

Електроживлення блоку управління не здійснюється через працюючу після вимкнення запалювання клему 15 шин CAN.

Температура блоку управління контролюється вбудованим датчиком. Поріг відключення — 100°C.

## 2 ЕЛЕКТРОННІ КОМПОНЕНТИ ПІДСИЛЮВАЧІВ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ

### 2.1 Ємнісний датчик підсилювача керма

Функції: Датчик підсилювача керма розташований у верхній частині редуктора рульового механізму та охоплює його вхідний вал. Він призначений для вимірювання кута повороту рульового колеса, який використовується далі для розрахунку швидкості його повороту. Але він не дозволяє визначати абсолютне значення кута повороту (кут повороту рульового колеса пропорційний куту повороту керованих коліс)[13].

Використання сигналу. По сигналу датчика блок управління підсилювачем розпізнає повороти рульового колеса. Чим швидше повертається рульове колесо, тим вище має бути частота обертання насоса підсилювача і більша його продуктивність (якщо не брати до уваги швидкість автомобіля).

Аварійна функція. При виході датчика з ладу підсилювач переходить на роботу за аварійною програмою. При цьому функції підсилювача зберігаються, але зусилля на рульовому колесі зростають.

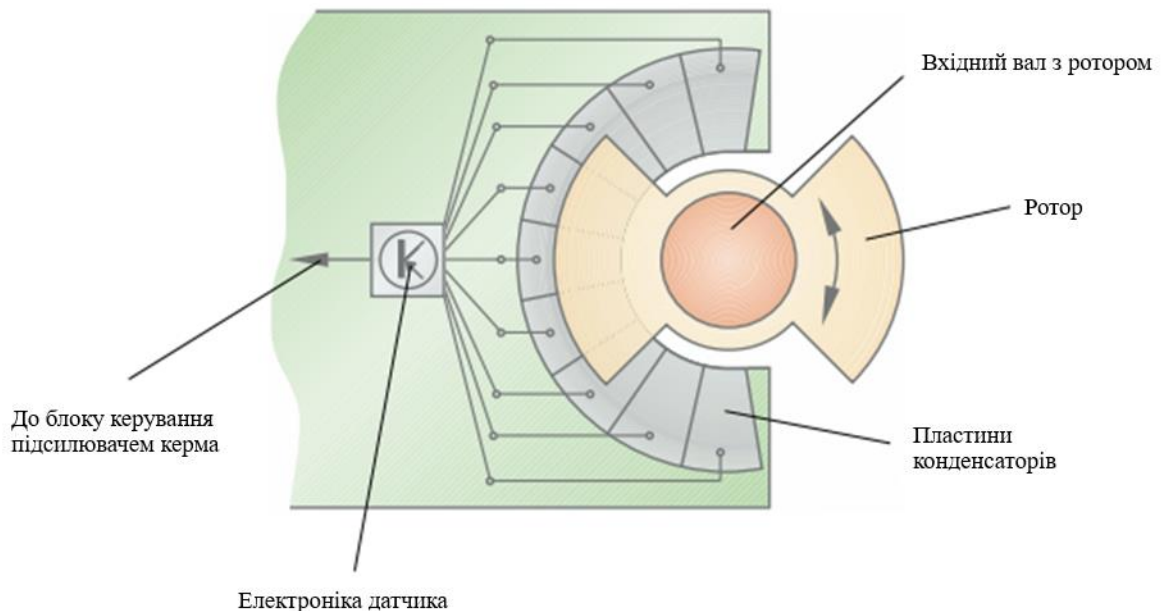


Рисунок 2.1 – Ємнісний датчик підсилювача керма

Між пластинами дев'яти малогабаритних конденсаторів обертається ротор, закріплений на вхідному валі редуктора рульового механізму. При цьому ємність пластинчастих конденсаторів змінюється.

Вбудована в датчик електроніка перетворює зміну ємності в сигнали кута і швидкості повороту керма, які надходять на вхід блоку управління підсилювачем керма.

## 2.2 Датчик підсилювача керма на ефекті Холла

Датчик Холла є електронним перемикачем. Він складається з ротора з 60 магнітами, розташованими у формі кільця, та інтегральної схеми (ІС) на елементі Холла. В ІС є напівпровідниковий шар, по якому тече живильний струм. Ротор обертається з зазором відносно ІС. Завдяки великій кількості магнітів у роторі вдається визначити кут повороту керма з достатньою точністю[12].

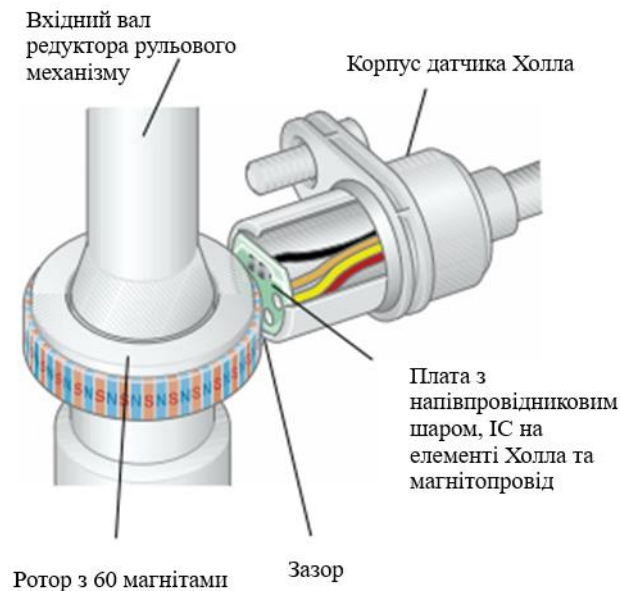


Рисунок 2.2 – Датчик підсилювача керма на ефекті Холла.

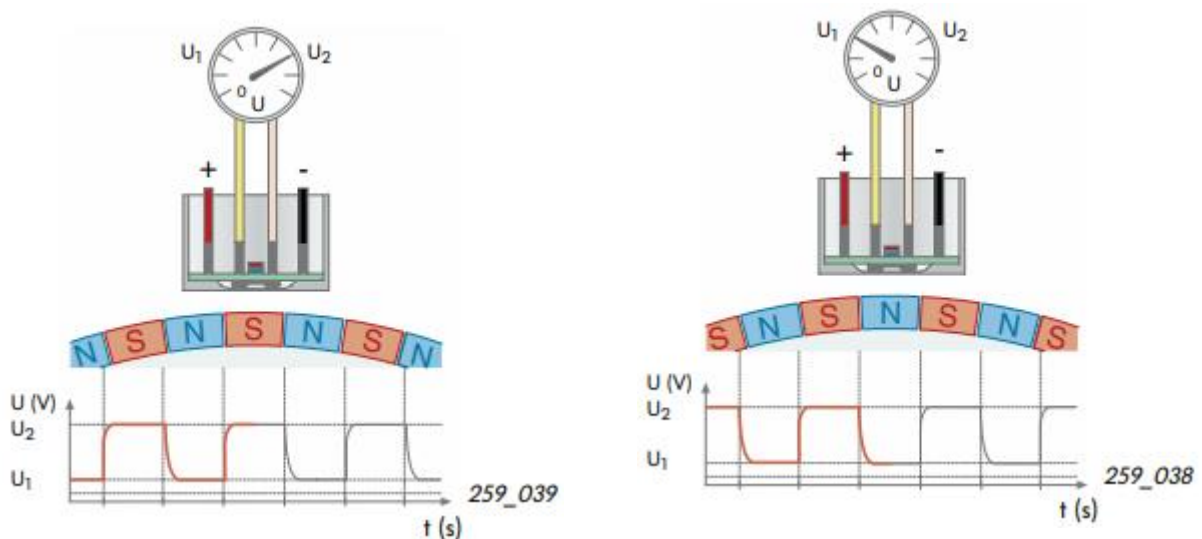


Рисунок 2.3 – Залежність вихідного сигналу від положення ротора.

Положення одного з магнітів ротора поблизу ІС називають станом магнітного бар'єра. При цьому на напівпровідниковому шарі всередині ІС виникає певна напруга. Величина цього напруження залежить від напруженості магнітного поля між постійними магнітами ротора. Якщо в результаті обертання ротора черговий магніт виходить із зони магнітного бар'єра, його магнітне поле перестає діяти на ІС. При цьому напруга на елементі Холла знижується і ІС розриває ланцюг датчика.

### 2.3 Датчик крутного моменту на рульовому колесі

Крутний момент на рульовому колесі вимірюється датчиком, встановленим безпосередньо на хвостовику шестірні вала рульового управління. Принцип роботи датчика заснований на магніторезистивному ефекті. Щоб забезпечити необхідну надійність датчика, він виконаний за дуплексною схемою (з дублюючими чутливими елементами)[12-14].

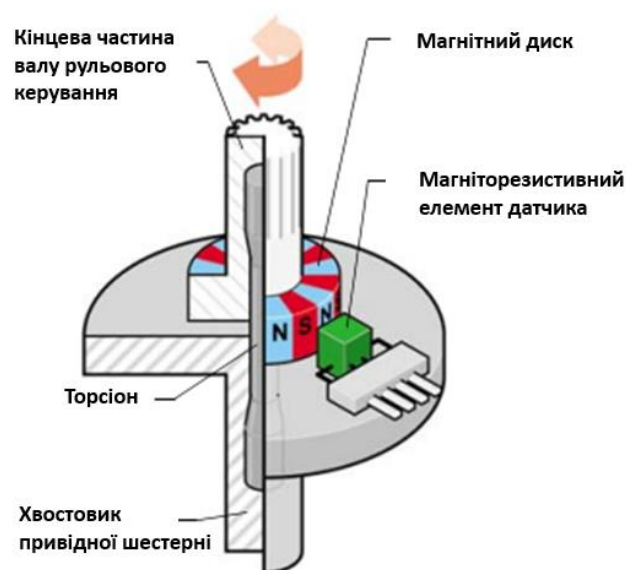


Рисунок 2.4 – Датчик крутного моменту на рульовому колесі.

Датчик крутного моменту розташований там, де вал рульового управління з'єднується з рульовим механізмом за допомогою торсіона. На кінці вала рульового управління встановлено магнітний диск, по окружності якого розташовані 24 зони з чергуванням полярності. При вимірюванні крутного моменту в кожний даний момент використовується тільки одна пара полюсів.

При несправності датчика крутного моменту необхідно замінити рульовий механізм у зборі. Несправність датчика тягне за собою відключення підсилювача

рульового механізму. Однак підсилювач відключається не миттєво, а поступово. Щоб забезпечити "плавне" відключення підсилювача, блок управління ним виробляє резервний сигнал, утворений із сигналів кута повороту рульового колеса і кута повороту ротора електродвигуна підсилювача.

#### 2.4 Датчик моменту повороту рульового колеса

Крутний момент, прикладений водієм до керма, є основою для розрахунку підтримуючого зусилля з боку підсилювача рульового управління. Величина крутного моменту на кермі вимірюється безпосередньо на валу-шестірні рульової колонки за допомогою датчика моменту. При цьому проводиться вимір кута повороту вхідного вала рульової колонки відносно вала-шестірні, і виміряна величина перетворюється в аналоговий електричний сигнал.

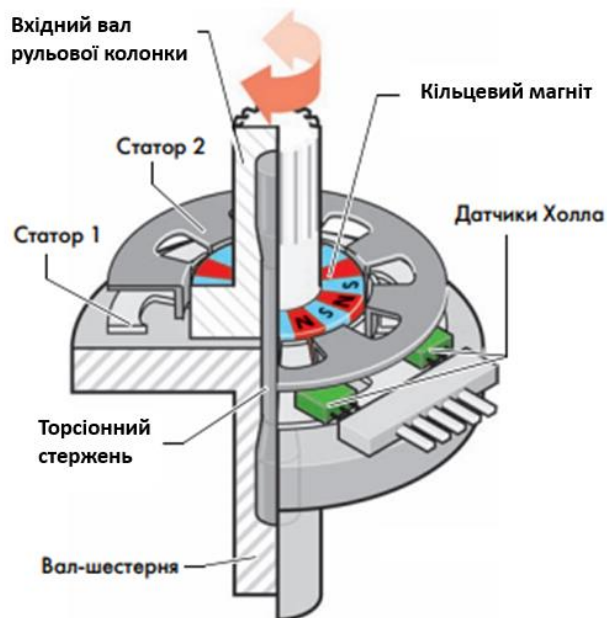


Рисунок 2.5 – Датчик моменту повороту керма

Конструкція. У датчику моменту повороту вхідний вал рульової колонки та вал-шестірня з'єднані між собою торсіонним стержнем. Цей торсіонний стержень має відому крутильну жорсткість. Шістнадцятиполюсний кільцевий магніт (вісім пар полюсів) з'єднаний з вхідним валом рульової колонки та обертається разом з ним. Два статори, кожен з вісьмома зубцями, з'єднані з валом-шестірнею і обертаються разом з ним. У вихідному положенні зубці статорів розташовані точно між відповідними полюсами розташованих по колу магнітів[11-12].

Датчики Холла закріплені на корпусі і при обертанні керма залишаються нерухомими.

Датчик є безконтактним, і його робота базується на магніторезистивному ефекті. Величина і напрямок магнітного потоку між статором 1 і статором 2 залежать від крутного моменту на рульовому колесі та вимірюються за допомогою двох лінійних датчиків Холла (схема з резервним ланцюгом).

Залежно від зусилля, прикладеного до рульового колеса, і відповідного кута закручування торсіонного стержня сигнал датчика Холла змінюється від нуля до максимального значення[14].

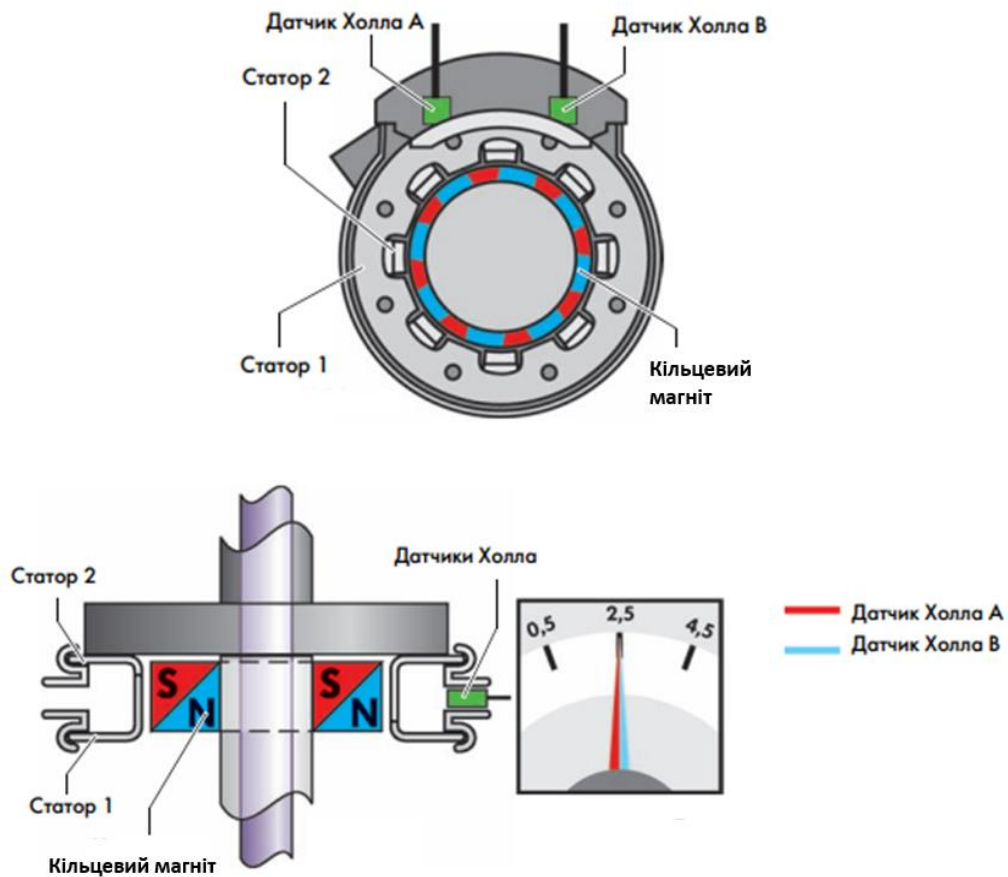


Рисунок 2.6 – Дія датчика при нульовому моменті

При нульовому положенні датчика моменту повороту зубці статора 1 і статора 2 знаходяться точно посередині між полюсами магнітів. Таким чином, ні статор 1, ні статор 2 не орієнтовані на один із полюсів магнітів. Магнітне поле між статорами відсутнє. Датчики Холла живляться напругою 5 В. Оскільки магнітне поле між статорами відсутнє, датчики Холла дають сигнал нульового положення 2,5 В.

Коли водій повертає кермо, торсіонний стержень між вхідним валом рульової колонки і валом-шестірнею закручується на певний кут. Кільцевий магніт обертається відносно статора 1 і статора 2. Коли всі вісім зубців статора 1 встановлюються напроти північного полюса кільцевого магніту, а всі вісім зубців статора 2 — напроти південного полюса, датчик знаходиться у стані максимального сигналу. Це означає, що статор 1 намагнічений у північному напрямку, а статор 2 — у південному.

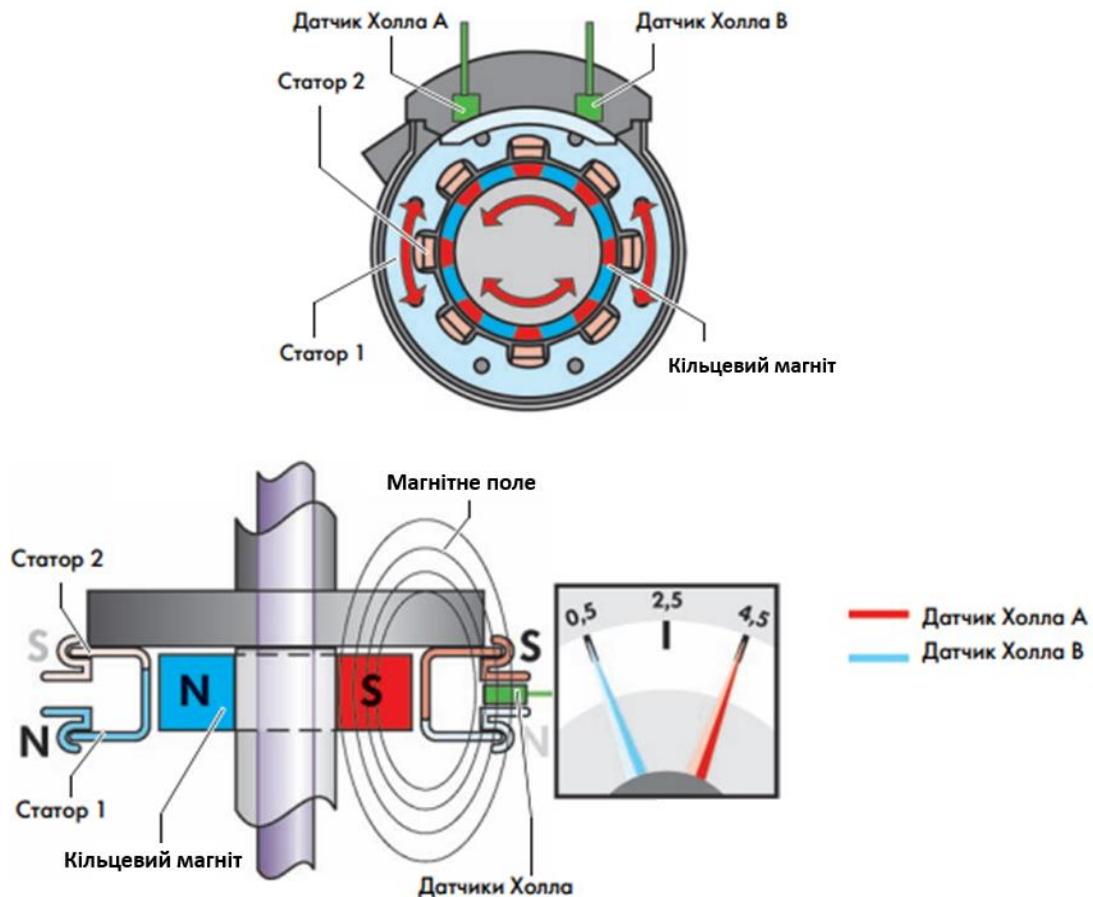


Рисунок 2.7 – Дія датчика при максимальному моменті.

Між двома статорами утворюється магнітне поле. Це поле виявляють датчики Холла і перетворюють його на електричний сигнал. Коли датчик Холла А видає максимальну напругу 4,5 В, датчик Холла В видає мінімальну напругу 0,5 В.

При повороті керма у протилежному напрямку датчик Холла А видає напругу 0,5 В, а датчик Холла В — 4,5 В.

При виході з ладу датчика моменту повороту керма необхідно замінити рульовий привід. При виявленні цього дефекту підсилювач рульового

управління буде відключений. Однак це відключення відбувається не раптово, а поступово.

Для того щоб забезпечити це «м'яке» відключення, блок управління обчислює на основі кутів повороту керма і ротора електродвигуна заміну для відсутнього сигналу від датчика моменту.

## 2.5 Датчик кута повороту керма

Датчик кута повороту керма, як правило, знаходиться за контактним кільцем подушки безпеки. Він розташований між кермом та блоком підкермових перемикачів. Датчик кута повороту керма передає сигнал, залежний від його величини, через шину CAN у блок управління кермової колонки. У блоці управління кермової колонки відбувається вимірювання вхідного сигналу.

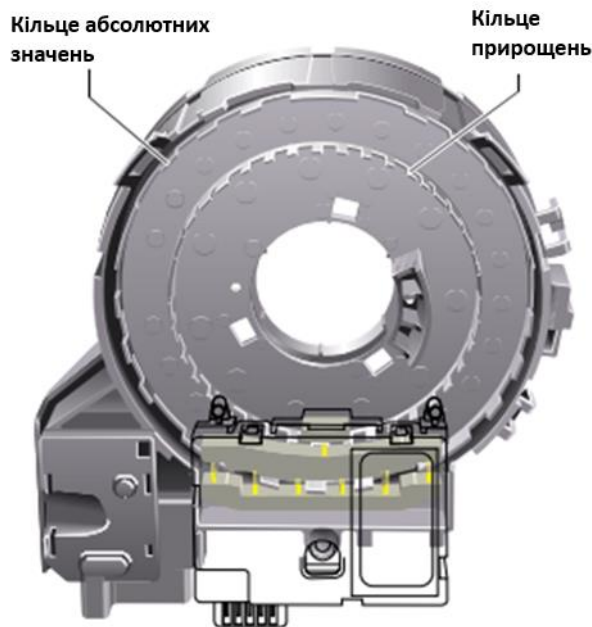


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд датчика положення керма

При виході датчика з ладу запускається аварійна програма. Відсутній сигнал від датчика замінюється резервною величиною. Підсилювач рульового управління залишається у робочому стані. Про наявність несправності сигналізує світіння контрольної лампи електромеханічного підсилювача рульового управління. При цьому відключаються наступні функції:

- активна зворотна реакція;
- програмні налаштування кінцевих положень;
- корекція прямолінійного руху.



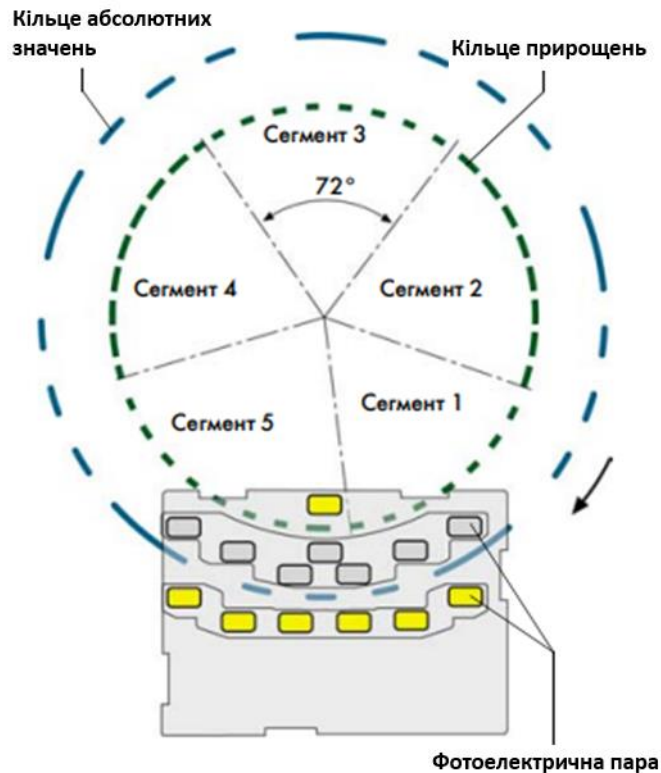


Рисунок 2.9 – Будова датчика положення керма

Кільце прирощення поділене на 5 сегментів по  $72^\circ$ . Воно використовується в поєднанні з однією фотоелектричною парою. В межах кожного сегменту кільце має кілька вирізів. Чередування вирізів у межах одного сегменту не змінюється, а в окремих сегментах воно відрізняється. Завдяки цьому здійснюється кодування сегментів.

Зовнішнє кільце служить для визначення абсолютних значень кута повороту керма. Воно використовується в поєднанні з шістьма фотоелектричними парами.

Датчик кута повороту керма дозволяє відряховувати його в межах до  $1044^\circ$ . Відлік кута здійснюється шляхом сумування числа градусів. При переході через позначку, що відповідає  $360^\circ$ , датчик фіксує завершення повороту на один повний оборот.

Конструкцією рульового механізму передбачено можливість повороту керма на 2,76 оборота[13].

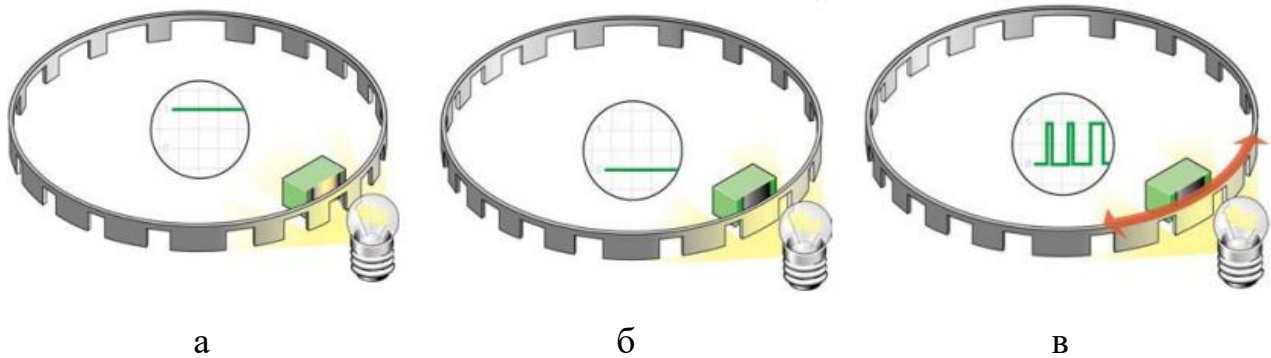


Рисунок 2.10 – Проходження сигналу через кільце.

Вимірювання кута повороту здійснюється за сигналами фотоелектричного датчика, що взаємодіє з рухомих екраном. Якщо для спрощення розглянути тільки кільце прирощення, можна побачити джерело світла з одного боку і фотоелемент з іншого.

Коли промінь світла проходить через виріз на кільці, на виходах фотоелемента виникає напруга(рис.2.10.а). Якщо цей промінь переривається виступом кільця, напруга зникає(рис.2.10.б).

При переміщенні кільця виникає певна послідовність імпульсів напруги(рис.2.10.в).

Послідовність імпульсів виникає також на кожній фотоелектричній парі, що взаємодіє з кільцем абсолютних значень. Усі ці послідовності імпульсів обробляються в блоці управління електронними приладами на кермовій колонці. Порівняння сигналів дозволяє визначити просування кілець від початку відліку, яке визначається за спеціальним сигналом, що надходить з кільця абсолютних значень.

## 2.6 Двигун електромеханічного підсилювача рульового управління

Двигун електромеханічного підсилювача рульового управління є, як правило, трифазним синхронним електродвигуном. Ротор синхронного електродвигуна обертається синхронно з магнітним полем статора. У порівнянні з асинхронним двигуном синхронний має ряд переваг[11]:

- Він легший.
- Він більш довговічний, тому що не має щіток.
- В якості ротора в ньому використовується постійний магніт.
- Він не вимагає налаштувань.

- Він економічний і має швидку реакцію відгуку.

Синхронний двигун має високий електричний ККД, оскільки немає необхідності витратити енергію на струм збудження, як у асинхронного двигуна. Завдяки цьому знижується споживання електроенергії у порівнянні з іншими системами рульового підсилювача.

Двигун електромеханічного підсилювача рульового управління складається з ротора і статора. Ротор являє собою 6-полюсний кільцевий магніт, виготовлений зі сплаву з рідкісноземельними елементами. Магніти з рідкісноземельних сплавів дозволяють отримувати сильні магнітні поля при мінімальних конструктивних розмірах[13].

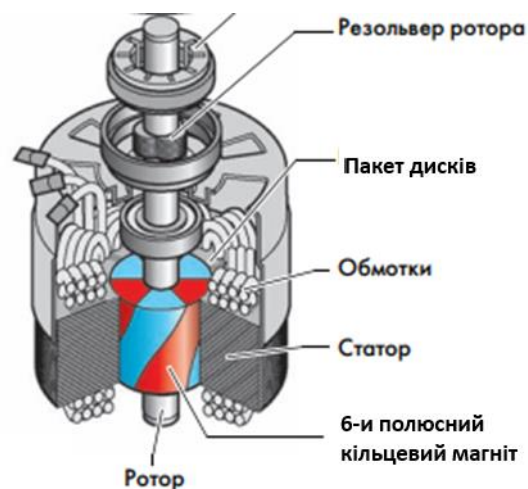


Рисунок 2.11 – Будова синхронного електродвигуна підсилювача керма

Статор складається з 9 обмоток і 9 багатошарових магнітопроводів. Це кількість формує асиметричну конструкцію. Обмотки виконані у формі синусоїд, зміщених відносно один одного і зкомутованих таким чином, що три магнітні поля утворюють результуюче поле, яке приводить у рух ротор. Для покращення плавності обертання ротора полюси його магнітів розташовані похило.

При протіканні електричного струму через обмотки в статорі виникає обертове магнітне поле. Магніти статора поводяться подібно стрілці компаса в магнітному полі землі відносно напрямку обертового магнітного поля, створеного обмотками. Змінюючи струм, можна змінювати кількість обертів і напрямок обертання.

Завдяки некратному числу обмоток (9) і магнітних полюсів ротора (6), ротор самовільно починає обертатися. Попереднього збудження не потрібно.

Ротор обертається синхронно з полем, створюваним струмом, що протікає через статор. Тому цей електродвигун називають синхронним електродвигуном.

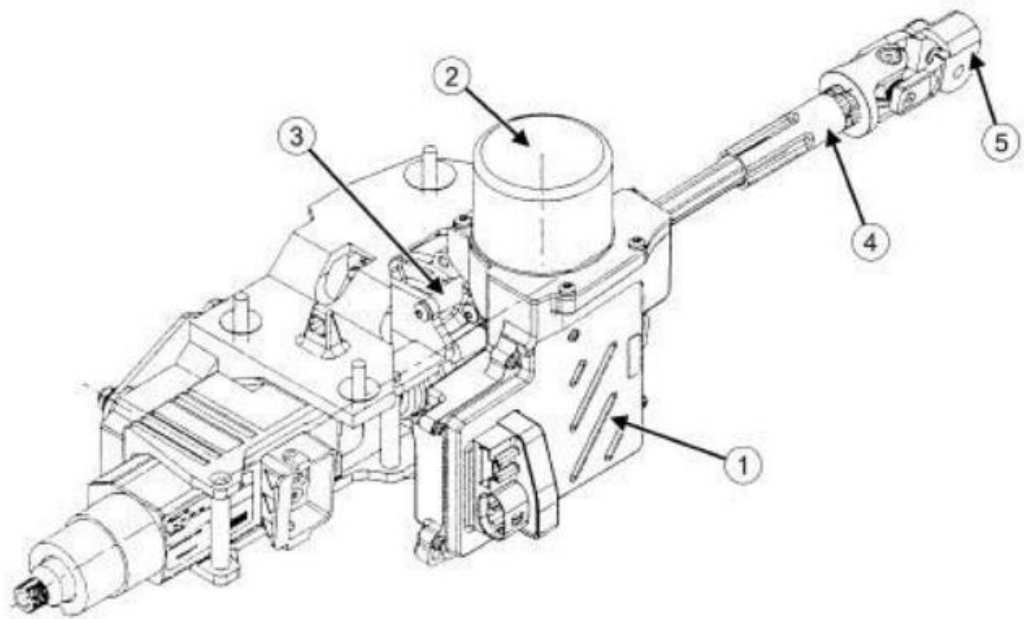
Датчик положення електродвигуна є складовою частиною електродвигуна електромеханічного підсилювача рульового управління. На кінці вала розташований датчик положення електродвигуна. Принцип роботи датчика положення електродвигуна базується на принципі резольвера. Він складається зі статора резольвера з 10 обмотками та ротора резольвера. Ротор резольвера являє собою пакет металевих дисків.

Датчик положення електродвигуна слугує для визначення абсолютного положення ротора в межах одного оберту. Крім того, цей сигнал використовується для визначення кількості обертів електродвигуна і напрямку обертання[14]. Таким чином, датчик дає інформацію про точне положення електродвигуна електромеханічного підсилювача рульового управління, яка необхідна для прецизійного управління цим двигуном. При виході датчика з ладу підсилювач рульового управління перестає працювати.

### 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Дослідний електропідсилювач керма

При проведенні експериментальних досліджень, в якості досліджуваної системи нами було обрано електромеханічний підсилювач керма, що встановлений на автомобіль Renault Megane 2 1,9 dci 2005 року випуску із колесами 225/45 R17. Даний електричний підсилювач керма є вбудованим в рульову колонку і підсилення відбувається за рахунок електродвигуна із черв'ячним механізмом.



1 - Комп'ютер електричного підсилювача кермового управління, оснащений датчиком моменту і кута повороту; 2 - електричний безщітковий двигун з черв'ячним гвинтом; 3 - шестерня редуктора; 4 - проміжний вал; 5 - універсальний шарнір у пасажирському відділенні

Рисунок 3.1 – Електромеханічний підсилювач керма Renault Megane 2.

Оскільки вузол блока керування із датчиками є умовно нерозбірним модулем, доступ до всіх сенсорів є сильно утрудненим то нами для зчитування усіх параметрів підсилювача рульового механізму використовувалось діагностичне обладнання. Також слід відмітити, що в даному електромеханічному підсилювачі при виході з ладу будь-якого із сенсорів необхідно проводити заміну підсилювача із рейкою в зборі.

У цьому автомобілі рульова система оснащена електропідсилювачем, встановленим на рульовій колонці. Дії водія передаються датчиком моменту, який вимірює силу, прикладену до керма водієм, та датчиком вимірювання кута. Сигнал кута повороту керма використовується комп'ютером курсової системи стабілізації для програмування контролю траєкторії.

Підсилення забезпечується за допомогою електродвигуна, який прикладає відповідний момент до рульової колонки в одному або іншому напрямку.

Комп'ютер контролює це підсилення, враховуючи декілька параметрів навколишнього середовища автомобіля, включаючи швидкість автомобіля.

Вхідні та вихідні сигнали і параметри зображено на рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Вхідні та вихідні сигнали і параметри електричного підсилювача керма

Тобто, в нашому випадку всі вхідні та вихідні сигнали, окрім живлення та ввімкнення запалення отримуються та надсилаються електропідсилювачем за допомогою шини передачі даних CAN.

## 3.2 Діагностичне обладнання

### 3.2.1 Діагностичний прилад ThinkDiag+

Для проведення діагностики, зчитування параметрів та налаштування дослідної системи нами використовувався діагностичний прилад ThinkDiag+.

ThinkDiag+ — це багатофункціональний автомобільний діагностичний сканер від ThinkCar, який пропонує можливості діагностики та обслуговування автомобілів на рівні дилерського обладнання. Він підключається до смартфона через Bluetooth та працює через програму ThinkDiag+, доступну для Android та iOS.

Основні можливості ThinkDiag+[18]:

Повна діагностика автомобіля: читання та очищення кодів помилок; перегляд параметрів у реальному часі (напр., напруга, паливні корекції, температури); аналіз заморожених кадрів.

Сервісні функції (15 функцій): адаптація дросельної заслінки; регенерація фільтра сажі; калібрування датчика кута повороту керма; скидання інтервалів заміни масла; сервісні функції для акумулятора, гальмівних систем, АКПП тощо.

Розширені функції: тестування виконавчих механізмів (наприклад, склопідйомників); звіт про стан систем автомобіля (Health Report); запис даних для подальшого аналізу.

Режим OBD-II: підтримує стандартні функції для діагностики більшості автомобілів, включаючи аналіз помилок та параметрів.

Додаткові функції: автоматичне визначення VIN-коду автомобіля; історія діагностики; можливість віддаленого керування.

Можливості перегляду параметрів у реальному часі Live Data Stream: пристрій дозволяє переглядати поточні дані автомобіля в реальному часі. Ці дані можуть відображатися у вигляді таблиць або графіків.

Побудова графіків: ви можете об'єднувати до чотирьох параметрів в один графік для одночасного моніторингу декількох змінних.

Аналіз поточних даних: наприклад, можна відстежувати роботу двигуна, трансмісії, ABS, SRS, системи кондиціонування тощо.

Збереження у файл: дані зберігаються у форматі лог-файлів, які можна переглядати та аналізувати пізніше. Це корисно для діагностування складних проблем.

### 3.2.2 Процедура діагностування електричного підсилювача

Для отримання даних електричного підсилювача керма нам необхідно під'єднати наш діагностичний сканер до автомобіля. Згодом провести автоматичну ідентифікацію автомобіля, далі в меню вибору блоків керування вибрати Variable P.A.S. (підсилювач керма із змінною продуктивністю). Система одразу його ідентифікує, внаслідок чого отримуємо вікно, що зображено на рис.3.3.

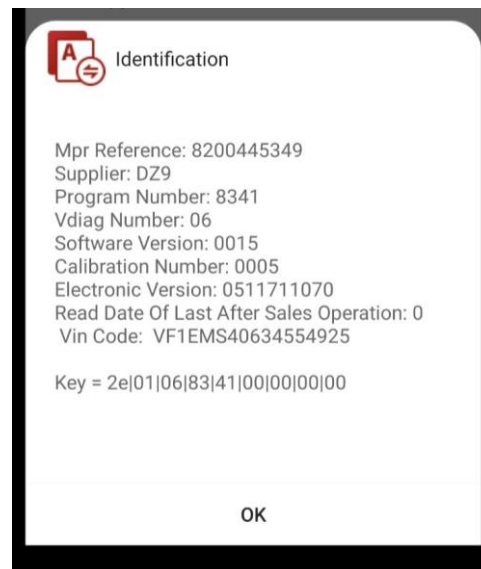


Рисунок 3.3 – Вікно ідентифікації електричного підсилювача.

В даному вікні наведена інформація про версію електронної програми підсилювача, його калібровки, постачальника, VIN-код автомобіля та ін.

Процедуру проведення діагностики та зчитування помилок наводити не будемо.

В подальшому за допомогою діагностичного сканера можна провести вимірювання величин, які нам є необхідними, провести калібрування електричного підсилювача, тобто виставити нульове положення керма або вказати блоку керування, якого типу колеса встановлені на автомобілі, оскільки це також змінює стратегію його поведінки.

Типові зображення екрану діагностичної програми відтворено на рис. 3.4.



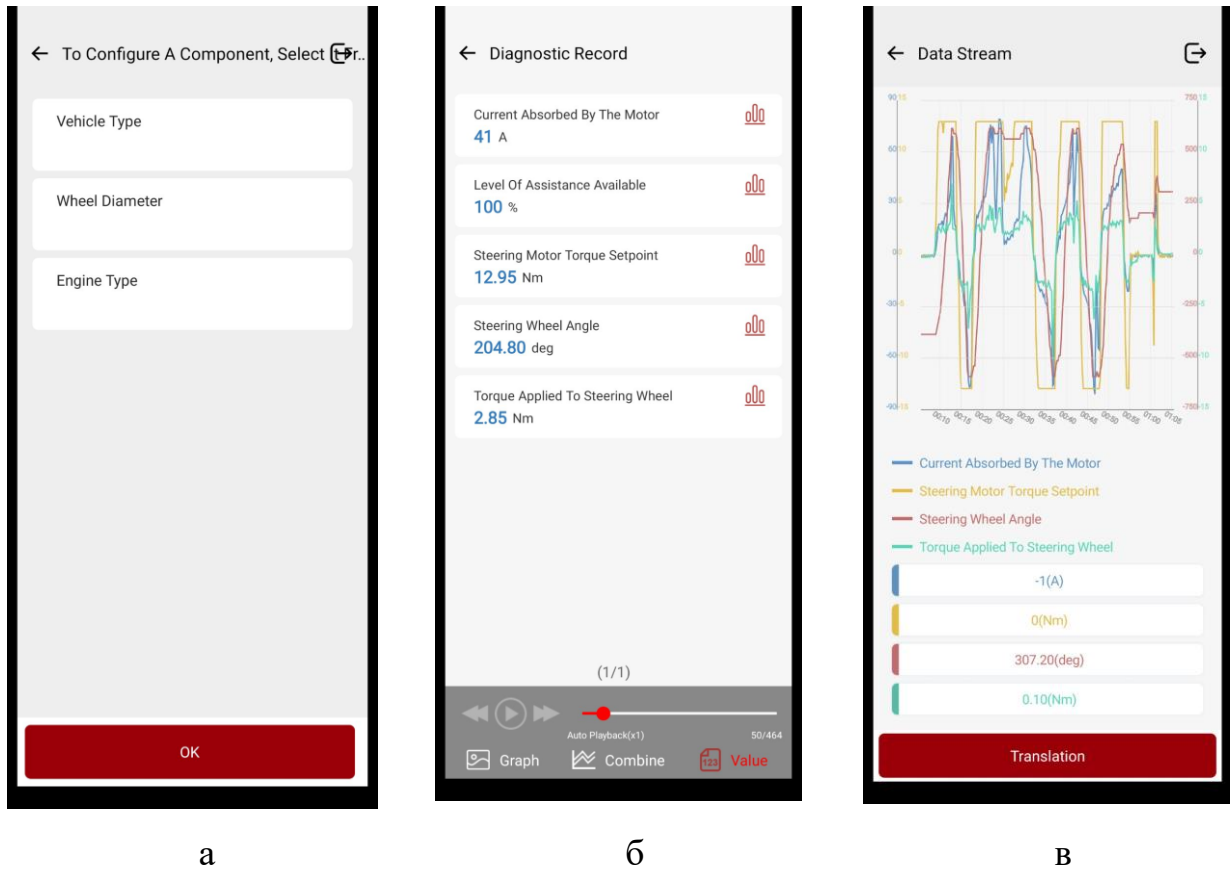


Рисунок 3.4 – Типові зображення екрану діагностичної програми.

а) основні налаштування електропідсилювача; б) режим перегляду даних в реальному часі; в) графічний режим перегляду даних.

Для нашого випадку ми використовували такі дані, як: струм, що споживає електродвигун; рівень підсилення в %; крутний момент на валу електродвигуна; положення керма; крутний момент на рульовому колесі.

Поруч із тим нами було отримано залежність ступеню підсилення нашого електропідсилювача відносно швидкості автомобіля.

### 3.3 Результати експериментальних досліджень

Внаслідок проведення процедури діагностики та отримання даних в реальному часі нами отримано залежність зміни крутного моменту, який створює електродвигун підсилювача рульового механізму відносно крутного моменту, що прикладено до керма. Отриману нами залежність графічно відтворено на рис. 3,5.



Рисунок 3.5 – Залежність зміни крутного моменту електродвигуна підсилювача рульового механізму відносно крутного моменту, що прикладено до керма.

Як видно із отриманого графіку залежність моменту електродвигуна відносно моменту керма носить доволі-таки цікавий нелінійний характер.

При малих зусиллях на кермі (до 0,3 Нм) електричний підсилювач взагалі не втручається в процес керування, що очевидно пов'язано із тим, щоб кермо не було надто чутливим та запобігти впливу мінімальних збурень на процес керування, що може призвести до розгойдування рульового керма, тобто самовільного повороту керованих коліс.

При середніх зусиллях на рульовому колесі (від 0,5 до 2 Нм) коефіцієнт підсилення є відносно невеликим та фактично не залежить від крутного моменту прикладеного до керма.

При збільшенні прикладеного моменту до рульового колеса (від 2 до 3 Нм) крутний момент на валу електродвигуна різко зростає, очевидно для полегшення маневрування та покращення можливості швидкості реакції на зміну положення рульового колеса, що очевидно має на меті покращити маневреність автомобіля.

При високих моментах прикладених до керма (3 Нм і більше) крутний момент на валу електродвигуна досягає максимуму на відмітці 12,95 Нм і надалі не збільшується.

Також слід відмітити, що якщо брати до уваги струм, що споживає електродвигун, то він при однаковому крутному моменті на валу електродвигуна може змінюватись в широких межах, від 30 до 70А. отже для даного електропідсилювача є визначальним саме значення крутних моментів а не струм електродвигуна. Очевидно, що залежність струму електродвигуна від моменту на його валу може також і залежати як від швидкості повороту рульового колеса так і від стану дорожнього покриття та стану самих автомобільних шин.

Змінивши налаштування електропідсилювача стосовно діаметру коліс з 17 на 15 дюймів, ми отримали залежність зміни крутного моменту електродвигуна підсилювача рульового механізму відносно крутного моменту, що прикладено до керма, що зображена на рис. 3.6.

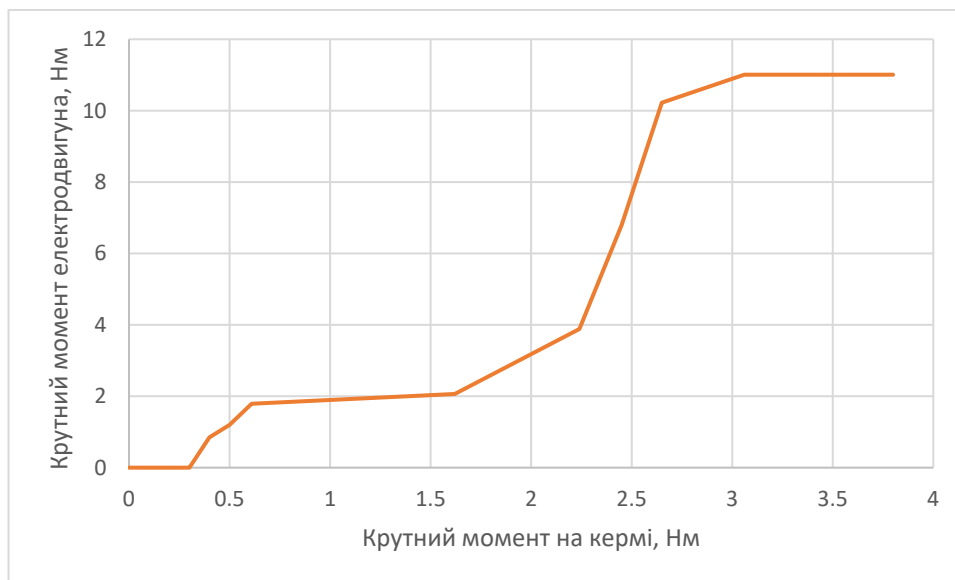


Рисунок 3.6 – Залежність зміни крутного моменту електродвигуна підсилювача рульового механізму відносно крутного моменту, що прикладено до керма для коліс 15 дюймів.

Як видно із отриманого результату, залежність носить аналогічний характер відносно попередньої, проте значення максимального крутного моменту на валу електродвигуна в даному випадку обмежується значенням 11 Нм.

Також нами отримано залежність зміни підсилення від швидкості руху автомобіля, яку наведено на рис. 3.7.

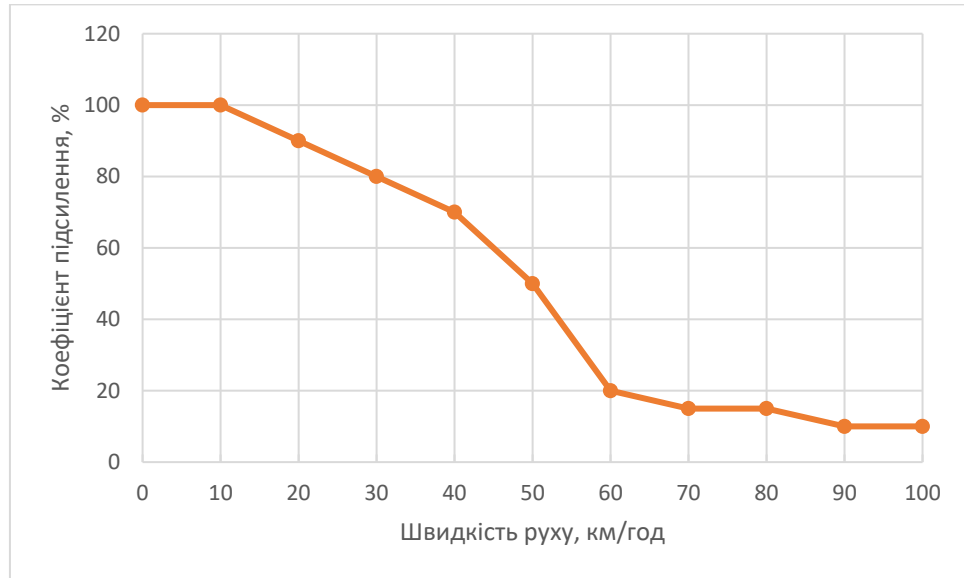


Рисунок 3.7 – Зміна коефіцієнту підсилення, в залежності від швидкості автомобіля.

Отже з рис. 3.6 видно, що до швидкості 10 км/год коефіцієнт підсилення є максимальним і становить 100%, далі повільно спадає і до 40 км/год отримує значення 70%, при швидкості 60 км/год його значення становить 20%, а при швидкості 90 км/год і більше його значення становить 10%. Очевидно така реалізація дозволяє покращити керуваність автомобіля та покращити відчуття сприйняття дороги на високих швидкостях, коли фактично підсилення є не потрібним.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Територія, виробничі і допоміжні приміщення, площадки і приміщення для зберігання транспортних засобів, споруди повинні відповідати НПАОП 0.00-1.62-12. «Про затвердження правил охорони праці на автомобільному транспорті» чинним будівельним, санітарним та протипожежним нормам і правилам [19] .

### 4.1 Вимоги до приміщень

Розташування виробничих і допоміжних цехів компанії повинні відповідати технологічному процесу обслуговування і ремонту транспортних засобів.

Промислові та допоміжні засоби та предмети, необхідні тільки за прямим призначенням, який передбачено для проекту. Для всіх будівель і споруд повинна бути документація.

Транспортні засоби та обладнання для обслуговування або ремонту, що зберігаються зовні повинні бути розміщені на окремих платформах на рівній площині. Щоб уникнути падіння агрегату, самовільного руху транспортних засобів і падіння їх вивішених частин необхідно встановлювати спеціальні підставки, упори.

У виробничих приміщеннях і на території зберігання деталей, вузлів, агрегатів і різного металу повинно бути організовано в окремих місцях на стелажах.

### 4.2 Виробнича санітарія

Метеорологічні умови (мікроклімат) виробничих приміщень визначається діючими на організм людини сукупністю температури, вологості та швидкості руху повітря, а також температури оточуючих поверхонь. В приміщенні зони діагностики метеорологічні умови залежать від технологічного процесу та від зовнішніх погодних умов. Нормальні метеорологічні умови в приміщенні дільниці забезпечуються раціональною

вентиляцією і опаленням на рівні допустимих значень температури повітря, відносної вологості та швидкості руху повітря, (див. табл.4.1).

Таблиця 4.1 – Нормативні параметри мікроклімату в зоні діагностики

Категорія робіт	Період року	Температура, °С			Відносна вологість, %;		Швидкість руху, м/с	
		Оптим.	Допустима на постійних робочих місцях		Оптим.	Допустима на постійних робочих місцях	Оптим.	Допустима на постійних робочих місцях
			Верхня межа	Нижня межа				
Середньої важкості II б	холодний	15-18	21	15	55-70	75	0,1-0,3	не більше 0,4
	теплий	20-25	27	16	50-65	примітка 1	0,2-0,4	0,2-0,5

Інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup> при опромінюванні до 25% поверхні тіла.

### 4.3 Вентиляція приміщення

Викиди в атмосферу із системи вентиляції розташовані на відстані від приймальних пристроїв для зовнішнього повітря більше 10 м. по горизонталі, викиди із системи місцевого відсмоктування розташоване на висоті більше 2 м. над найвищою точкою[20].

Визначимо об'єм повітря який подається системою загально-обмінної вентиляції за формулою:

$$L_n = K_{\text{пр}} \cdot V_{\text{п}}, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.1)$$

де  $K_{\text{пр}}$  – коефіцієнт повітрообміну, приймаємо  $K_{\text{пр}} = 4$  год.

$V_{\text{п}}$  – об'єм приміщення,  $V_{\text{п}} = 540 \text{ м}^3$ .

$$L_n = 4 \cdot 540 = 2160 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Загальний об'єм повітря, який подається в зону діагностики:

$$L = L_k + L_n [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.2)$$

$$L = 1713.6 + 2160 = 3873,6 (\text{м}^3/\text{год}).$$

Продуктивність вентилятора визначаємо за формулою:

$$L_B = (1,05 - 1,1) \cdot L, [\text{м}^3/\text{год}]; \quad (4.3)$$

$$L_B = (1,07 - 3873,6) = 4145, (\text{м}^3/\text{год}).$$

Приймаємо опір в мережі подачі повітря  $P_M = 35 \text{ кгс/м}^2$ .

Приймаємо радіальний вентилятор типу Ц4 – 70 №5 з колесом 1,05  $D_{\text{ном}}$ , який при  $L_B = 4145 \text{ м}^3/\text{год}$  і  $P_M = 35 \text{ кгс/м}^2$  має ККД рівний 0,805, частота обертів ротора 930 об/хв.

Приймаємо, що вентилятор приводить в рух електродвигун через клинопасову передачу.

Потужність двигуна, яка потребується:

$$N_{\text{дв}} = \frac{L \cdot P_M}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{пер}}}, [\text{кВт}]; \quad (4.4)$$

Де  $\eta_B$  – ККД вентилятора,  $\eta_B = 0,805$ ;

$\eta_{\text{пер}}$  - ККД передачі,  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ ;

$$N_{\text{дв}} = \frac{4145 \cdot 35}{3600 \cdot 102 \cdot 0,805 \cdot 0,95} = 0,52, (\text{кВт}).$$

Установча потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта запасу визначається за формулою:

$$N_{\text{дв.у}} = K_3 \cdot N_{\text{дв}}, [\text{кВт}]; \quad (4.5)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, для даного типу двигунів,  $K_3 = 1,2$ ;

$$N_{\text{дв.у}} = 1,1 \cdot 0,52 = 0,62, (\text{кВт}).$$

Приймаємо електродвигун асинхронний серії 4А закритого виробництва 4А90ЛА, який має потужність 0,75 кВт при синхронній частоті обертання 750 об./хв.

В мережу вентиляції необхідно встановити:

- 1) фільтр для очистки подаваного повітря;
- 2) калорифер для обігріву подаваного повітря в холодну пору року.

#### 4.4 Техніка безпеки

Технічний стан автомобіля та його агрегатів необхідно перевіряти в основному при непрацюючому двигуні та загальмованих колесах, за винятком перевірки тягово-динамічних характеристик автомобіля на стенді, перевірки роботи систем живлення та запалення, а також при прослуховуванні працюючих агрегатів автомобіля.

При огляді допускається користуватися переносною лампою з запобіжною сіткою та напругою не вище 42 В,

Регулювати системи та агрегати необхідно при непрацюючому двигуні (окрім регулювання системи живлення та запалення).

Робоче місце діагностика-оператора обладнано регульованим по висоті стільцем який обертається. Пост діагностики обладнаний ефективною витяжкою для видалення відпрацьованих газів.

Будівництво та його компоненти виключають можливість їх обвалення, опускаючись, перевертаючи і довільне переміщення в будь-яких умовах.

Частини машин (гідравлічні та пневматичні трубопроводи, запобіжні клапани, кабелі тощо), механічних пошкоджень, які можуть призвести до виникнення, повинні бути захищені або розміщені таким чином, щоб запобігти випадковому пошкодженню.

Пристрої для запуску і зупинки обладнання повинні бути розташовані таким чином, щоб вони могли бути простим у використанні з робочими місцями і запобігання несанкціонованої інтеграції і створення небезпечних ситуацій, працюючи з порушеннями контролю послідовності дій.

Поверхнєве обладнання та компоненти промислового обладнання, які можуть бути джерелом небезпеки для працівників, повинні бути пофарбовані відповідно до вимог промисловості.



## 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Використання адаптивної пневматичної підвіски дозволяє досягти паливної економічності до 3% при використанні автомобіля при їзді по місту. Проте автомобіль не завжди використовується у міському циклі їзди, при якому дана система не дає економії палива. Але, з другої сторони, якщо автомобіль використовувати в якості таксування по місту, при відносно великих пробігах авто, можна досягти значної економії. В нашому випадку порахуємо економічну ефективність транспортного засобу при використанні в якості міського таксі.

### 5.1 Оцінка ефективності енергозбереження

Моделювання зміни параметрів автомобільного двигуна як розрахунковим, так і експериментальним шляхом протягом реальної тривалості експлуатаційного циклу неможливо як за часом, так і за витратою палива [16]. Тому відносні оцінки будуть отримані на основі загальновідомих співвідношень між витратами палива у сталих й перехідних режимах. Для отримання конкретних виразів оцінок скористаємося формулою для середньоексплуатаційної питомої ефективної витрати палива, що наведена в [11]:

$$g_{e \text{ ср.е.}} = \frac{\sum B_{\text{ч.пер.}} + \sum B_{\text{ч.уст.}}}{A}, \quad (5.1)$$

де  $\sum B_{\text{ч.уст.}}$  – сумарні, по всіх усталених режимах експлуатаційного циклу, витрати палива;  $\sum B_{\text{ч.пер.}}$  – сумарні, по всіх перехідних режимах експлуатаційного циклу, витрати палива;  $A$  – сумарна робота на колінчастому валу дизеля за умовний цикл експлуатації.

Для проведення аналізу у відносних величинах перетворимо цей вираз. Спочатку позначимо:

$$\sum B_{\text{ч. пер.}} = K_{\text{пер}} \times \sum B_{\text{ч. уст.}}, \quad (5.2)$$

де  $K_{\text{пер}}$  коефіцієнт, що позначає частку витрати палива у перехідних процесах (міський цикл їзди) відносно витрати палива в усталених процесах.

Позначимо як  $\sum V_{ч.уст.1}$  витрату палива в усталеному режимі після впровадження електромеханічного підсилювача для усталеного режиму, при чому  $\sum V_{ч.уст.1} < \sum V_{ч.уст.}$ .  $\sum V_{ч.уст.1}$  можна представити у вигляді:

$$\sum V_{ч.уст.1} = \sum V_{ч.уст.} - K_{з\ уст.} \times \sum V_{ч.уст.} = \sum V_{ч.уст.} \times (1 - K_{з\ уст.}), \quad (5.3)$$

де  $K_{з\ уст.}$  – коефіцієнт, що враховує зниження витрати палива на усталених режимах.

Позначимо як  $\sum V_{ч.пер.1}$  витрату палива в перехідних режимах після впровадження електромеханічного підсилювача, при чому  $\sum V_{ч.пер.1} < \sum V_{ч.пер.}$ .

$\sum V_{ч.пер.1}$  представимо у вигляді:

$$\sum V_{ч.пер.1} = \sum V_{ч.пер.} - K_{з\ пер.} \times \sum V_{ч.пер.} = \sum V_{ч.пер.} \times (1 - K_{з\ пер.}), \quad (5.4)$$

де  $K_{з\ пер.}$  – коефіцієнт, що враховує зниження витрати палива в перехідних режимах.

З урахуванням введених позначень вираз для середньо-експлуатаційної питомої ефективної витрати палива  $g_{e\ ср.е.1}$ , після впровадження електромеханічного підсилювача, прийме вигляд:

$$g_{e\ ср.е.1} = \frac{\sum V_{ч.уст.} \times (1 - K_{з\ уст.})}{A} + \frac{K_{пер.}(1 - K_{з\ пер.}) \times \sum V_{ч.уст.}}{A}. \quad (5.5)$$

Очевидно, що  $g_{e\ ср.е.1} < g_{e\ ср.е.}$ . Тоді їх співвідношення прийме вигляд:

$$\frac{g_{e\ ср.е.1}}{g_{e\ ср.е.}} = \frac{[(1 - K_{з\ уст.}) + K_{пер.}(1 - K_{з\ пер.})] \times \sum V_{ч.уст.}}{(1 + K_{пер.}) \times \sum V_{ч.уст.}}, \quad (5.6)$$

Або після перетворень:

$$\frac{g_{e\ ср.е.1}}{g_{e\ ср.е.}} = 1 - \frac{K_{з\ уст.} + K_{пер.} \times K_{з\ пер.}}{1 + K_{пер.}}, \quad (5.7)$$

тоді:

$$g_{e\ ср.е.1} = g_{e\ ср.е.} \times \left(1 - \frac{K_{з\ уст.} + K_{пер.} \times K_{з\ пер.}}{1 + K_{пер.}}\right) \quad (5.8)$$

## 5.2 Розрахунок економічної ефективності.

Розрахунок економічних показників проведено з визначенням додаткового економічного ефекту від покращення паливної економічності

автомобіля, оснащеного електромеханічним підсилювачем при використанні автомобіля в якості таксі.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності автомобіля, обладнаного електромеханічним підсилювачем вказані в табл.5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності автомобіля, обладнаного адаптивною підвіскою

Назва показника	Одиниця виміру	Дослідна модель	Базова модель
Витрата палива	л/100 км	9,6418	9,94
Річне планове завантаження	км	40000	40000
Вартість пального	грн./л	56	56

Середня питома витрата палива для вказаного режиму роботи становить:

$$g_{e \text{ ср.е.}} = K_{\text{зав}} \times g_e \quad (5.9)$$

де  $K_{\text{зав}}$  – коефіцієнт завантаження автомобіля (1,0),  $g_e$  - питома витрата палива на даному режимі роботи ( $g_e = 9,94$  л/100 км).

$$g_{e \text{ ср.е.}} = 1,0 * 9,94 = 9,94 \text{ л/100 км} \quad (5.10)$$

Згідно даних  $K_{\text{з пер.}} = 0,033$ ,  $K_{\text{з уст.}} = 0,01$  та оскільки частка перехідних режимів (міського циклу) для автомобіля, що використовується у якості таксі становить приблизно 80% від загального часу роботи, то  $K_{\text{пер.}} = 0,8$ .

Підставивши дані значення у (5.8), отримуємо:

$$g_{e \text{ ср.е.1}} = 9,94 * (1 - (0,01 + 0,8 * 0,033) / (1 + 0,8)) = 9,94 * 0,9626 = 9,6418 \text{ л/100 км} \quad (5.11)$$

Річний економічний ефект від зниження витрати палива визначається за залежністю:

$$E_k = (g_{e \text{ ср.е.}} - g_{e \text{ ср.е.1}}) \times T_p \times c / 100, \quad (5.12)$$

де  $T_p$  - річне планове завантаження автомобіля, км;  $c$  – закупівельна ціна бензину, грн/кг ( $c = 56$  грн/л).

Виходячи з вище вказаного, отримуємо річну економію:

$$E_k = 6679,68 \text{ грн.}$$

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано типи підсилювачів рульового керування, які застосовуються в автомобілях.
2. Детально описано будову та принцип дії гідравлічної, електрогідравлічної, електромеханічної та адаптивної системи рульового керування, наведено їх переваги та недоліки .
3. Описано процедуру діагностики та отримання даних із системи електричного підсилювача рульового керування автомобіля Renault Megane 2.
4. Досліджено залежність зміни крутного моменту на валу електродвигуна підсилювача керма від моменту на рульовому колесі при різних налаштуваннях блоку керування електропідсилювача.
5. Визначено, що залежність моменту на валу електродвигуна відносно зусилля на кермі має нелінійний характер та має обмеження по максимальних значеннях, а також є залежною від налаштувань блоку керування електропідсилювача.
6. Пораховано економічний ефект застосування автомобіля із електричним підсилювачем відносно гідравлічного підсилювача в якості таксі дозволяє досягти річної економії 6679,68 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Power steering system in cars - Explore all facts.[Електронний ресурс]. url: <https://ackodrive.com/car-guide/power-steering-system/> (Дата звернення 12.09.2024).
2. Bosch Automotive Handbook - 8th Edition/Bentley Production-2015.
3. М. Дрозд, К. Зозуля. Підручник водія. Основи керування автомобілем. - Центр навчальної літератури, 2019 – 198 с.
4. Electric Power Steering Torque Compensation for Advanced Safety and Comfort. SAE Technical Paper 2018-01-1053.
5. Avesta Goodarzi; Amir Khajepour. Vehicle Suspension System Technology and Design/ Morgan & Claypool Publishers; May 2017.
6. Chris Johanson, Martin T. Stockel. Auto Suspension & Steering Workbook, A4 Fourth Edition, Workbook/ Goodheart-Willcox; Fourth Edition, Workbook (January 31, 2014)
7. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. Automotive Control Systems. For Engine, Driveline, and Vehicle. Second edition// Springer-Verlag, 2005 – 512 p.
8. Шабатура Ю.В., Паранчук Я.С. , Карплюк Л.Ф., Кузнецов О.О. Електромеханічні системи керування. - Магнолія 2006 – 2021 – 352 с.
9. Genta G., Morello L. The Automotive Chassis Vol. 2: System Design/ Springer, 2009 - 834 p.
10. Ogata, K. Modern Control Engineering. Fifth ed. - Prentice Hall. 2010. 689 p.
11. О. А. Лудченко. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. ня-Прес, 2003. — 511.
12. Bosch Robert GmbH (Ed.) Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics Systems and Components, Networking and Hybrid Drive/ 5th Edition. — Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. — 530 p.
13. Ткачук В. І. Електромеханотроніка/Підручник — Львів. Видавництво Львівської політехніки, - 2006 - 440 с.
14. Abe, M., & Nishida, Y. Vehicle Handling Dynamics: Theory and Application. Butterworth-Heinemann, 2015. 370 p.

15. Popp K., Schiehlen W. Ground Vehicle Dynamics/ Springer, 2010. 366 p.
16. Park, H., et al. Development of Advanced Torque Control Algorithms in EPS Systems. Journal of Vehicle Engineering, 2021. 327 p.
17. Van Zanten, A. T. Chassis Systems: Adaptive Cruise Control, Anti-lock Braking Systems, and Electric Power Steering. Springer, 2021. 523 p.
18. Crolla D.A. (ed.) Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body/ Butterworth-Heinemann, 2009 - 850 p.
19. Огляд мультимарочного сканера THINKDiag від Thinkcar. URL: <https://motorstate.com.ua/ua/info/ohliad-multymarochnoho-skanera-thinkdiag-vid-thinkcar> (дата звернення: 5.10.2024)
20. Жидецький В.Н. Основи охорони праці / Жидецький В.Н., Джигирей В.С., Мельников О.В. – Львів: Афіша, 2001. – 349 с.
21. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.