

Дисципліна «ЕСКТЗ»
Частина 3 «Мехатронні системи ходової частини автомобіля»
Тема 13 «Системи рульового керування»
Лекція № 33 (2 години)

1. Загальні відомості про рульове керування.
2. Характеристика датчиків мехатронних систем.

1. Загальні відомості про рульове керування

Рульове керування – система керування напрямком руху транспортних засобів за допомогою рульового колеса. Складається з механізмів, що перетворюють положення (кут повороту) керма в пропорційну зміну положення коліс або аналогічних керуючих напрямком руху елементів.

На автомобілях рульове керування складається з механічного редуктора (рульового механізму) і системи тяг (рульової трапеції), що перетворюють поворот керма в поворот керованих коліс. Ставлення кутів повороту керма і коліс відомо як передавальне відношення рульового керування і зазвичай, становить від 15: 1 до 25: 1. Колесо, що знаходиться з того боку, куди відбувається поворот, повертається на більший кут так, щоб точка перетину осей передніх коліс перебувала на осі задніх коліс (в цьому випадку всі колеса обертаються навколо однієї точки і не відбувається бічного ковзання шин). Згідно розглянутій структурі, системи рульового керування **класифікують** за загальними ознаками:

- місцем розташування керованих коліс (передня, задня вісь, інтегральні);
- принципом дії (механічні, пневматичні, гідравлічні, електричні);
- типу редуктора (рейкові, черв'ячні, гвинтові);
- способу зміни передавальної характеристики.

Розташування керованих коліс визначається типом і конструкцією транспортного засобу. Інтегральні системи реалізують оптимальні керуючі впливи через обидві осі автомобіля під командою електронної системи. При цьому, керування колесами задньої осі (підрулювання) здійснюється за допомогою електричного приводу.

Принцип дії системи рульового керування, як і будь-якої іншої системи, визначається джерелом енергії, використовуваної для підсилювача керма і в більшості випадків, диктується наявністю систем і агрегатів аналогічного принципу побудови на борту даного автомобіля.

Підсилювачі рульового керування – системи і механізми в рульовому керуванні, призначені для зниження керуючого зусилля, що прикладається до рульового колеса, з метою підвищення комфорту і зниження стомлюваності водія.

Рульовий механізм є частиною рульового керування, яка перетворює обертальний рух рульового колеса в поступальний хід рульових тяг. Представляє механічний редуктор у вигляді передачі шестерня-рейка або черв'ячної передачі, або передачі гвинт-кулькова гайка.



а – рейка; б – черв'як; в – кулькова гайка

Рисунок 1. Рульові механізми.

Шестерня-рейка – кермо з'єднане з нерухомою (такою що обертається) шестернею, кінці рухомої рейки через тяги повертають колеса. Застосовується на більшості легкових автомобілів (передньопривідних).

Черв'ячна передача – рульове колесо обертає черв'як, по якому ходить виводжений сектор зубчастого колеса-ролик (тертя ковзання замінено на тертя кочення). Перекочуючись по сектору черв'яка, ролик обертає вісь, з іншого боку якої закріплений важіль, який своїм рухом переміщує рульову трапецію.

Гвинт-кулькова гайка – рульове колесо обертає гвинтовий вал, поступально переміщаючи гайку (гвинтову втулку), через тяги переміщує рульову трапецію. Між витками валу і втулки розташовані кульки, що переводять тертя ковзання в тертя кочення. Механізм застосовується спільно з гідروпідсилювачем (втулка-гайка є також поршнем гідроциліндра).

Неелектричне керування дозволяє реалізувати статичні передавальні характеристики за рахунок механічних перетворювачів, які мають обмежені експлуатаційні і технологічні показники. Так, наприклад, передавальне відношення можна реалізувати за рахунок засобів гідравлічного підсилювача, а нелінійність передавальної характеристики забезпечити за рахунок різної геометрії зубцевої зони рейкового механізму.

Електричне керування додатково дозволяє реалізувати необхідні динамічні характеристики підсилювачів керма, а також алгоритми активного керування автомобілем в режимах дорожнього руху (системи допомоги водієві) на підставі інформації, отриманої з датчиків бортових систем різного призначення. Крім того електричні системи керування характеризуються високою комунікабельністю і технологічністю виготовлення.

Електричне керування має на увазі використання електронних систем, до складу яких крім інформаційних датчиків входять електронний блок керування (ЕБК) і актуатори (електромеханічні перетворювачі). В ЕБК, згідно закладеній програмі, виконується алгоритм формування сигналів керування виконавчими пристроями. Залежно від складності цього алгоритму (ступеня впливу на орган керування) електронні системи рульового керування поділяють на два типи: пасивні та активні.

Пасивні системи самостійно не впливають на елементи кермового механізму, а керують підсилювачами керма і знижують наслідки неправильних дій водія. **Активні системи** AL, AS (системи помічники) надають автоматичне

вплив на рульовий механізм в залежності від умов і режимів руху автомобіля. Активні системи комбінованої структури, що реалізують більш складні алгоритми з керування ходовою частиною автомобіля, прийнято називати адаптивними. Таким чином, принципи побудови електронних систем полягають в оптимізації процесів рульового керування автомобілем з урахуванням дорожніх умов, режимів руху і характеру впливу на рульове колесо.

В якості актуаторів (виконавчих пристроїв) в електронних системах рульового керування для реалізації керуючих впливів використовуються електроклапани і електродвигуни різного призначення. З цих позицій мехатронні системи рульового керування можна представити промисловими назвами:

- з електромагнітною муфтою рульової колонки – Magnasteer (MS);
- з електроклапанним модулятором тиску рідини – Servotronic 1 (ST-1);
- з електромоторним гідронасосом – Servotronic 2 (ST-2);
- з допоміжним електромоторним приводом – Servolectric (SE);
- з електроклапанним модулятором і електромоторним приводом – Active Front Steering (AFS);
- з основним електромоторним приводом – Direct Adaptive Steering (DAS);
- комбіновані.

До наведеного переліку слід додати інтегральні системи рульового керування AS (Assisted Steering), до складу яких входить електромоторний пристрій підрулювання задніх коліс HSR (Highly Sophisticated-transport Research). Активні інтегральні системи прийнято називати адаптивними системами рульового керування. Таким чином, різноманітність мехатронних систем рульового керування можна представити загальною класифікаційною структурою, рисунок 2.

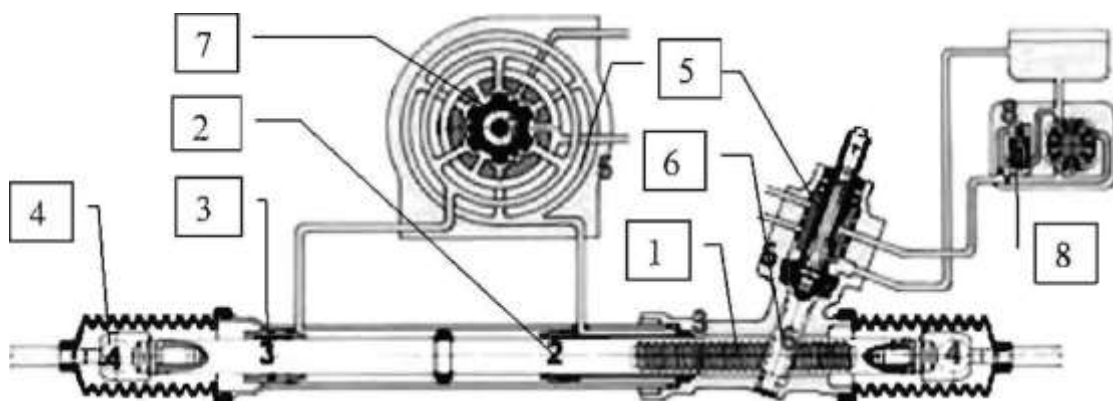


Рисунок 2. Класифікаційна структура мехатронних систем рульового керування

Вимоги, що пред'являються до рульового керування сучасного автомобіля, полягають в забезпеченні надійності, керованості, інформативності та чутливості системи. Ці вимоги можна деталізувати за технічними показниками:

- забезпечення заданої траєкторії руху з необхідними параметрами поворотності, поворотності і стійкості (маневреності);
- нормоване зусилля на рульовому колесі при маневрі;
- забезпечення віброізоляції рульової колонки від нерівностей дороги;
- відповідність радіусу повороту автомобіля керуючому впливу на рульовому колесі;
- стабілізація становища повернутих керованих коліс;
- нормоване число обертів керма від середнього положення до крайніх положень;
- забезпечення превентивного керування при виході з ладу підсилювача;
- нормоване значення допустимого сумарного люфту керма.

Розглянемо пристрій базової системи рульового керування з гідравлічним підсилювачем (ГПР). Виконавчий механізм гідропідсилювача легкового автомобіля, як правило, зкомпонований разом з рульовим механізмом [1]. Такі підсилювачі називаються інтегральними, рисунок 3.



1– рульова рейка; 2 – поршень; 3 – сальники; 4 – шарніри рульових тяг;
5 – розподільник із золотником; 6 – шестерня; 7 – торсіон; 8 – роторний гідронасос
Рисунок 3. Рейковий рульовий механізм з гідропідсилювачем

Роторний або аксіально-поршневий насос, що приводиться ременем від колінчатого валу, засмоктує з бачка мастило і нагнітає під високим тиском до 100 атм в золотниковий розподільник.

Розподільник відстежує зусилля на кермі і строго дозовано допомагає повертати керовані колеса. Для цього використовують чутливий пристрій (найчастіше торсіон, вбудований в розріз рульового валу). Коли машина стоїть або їде по прямій, то зусилля на рульовому валі немає, і торсіон не закручений – відповідно, перекриті дозуючі канали розподільника, тиск в магістралі не підвищується, а мастило зливається назад в бачок.

При повороті керма торсіон закручується тим сильніше, чим більше зусилля на кермі. Золотник відкриває канали і направляє мастило в виконавчий

пристрій. У механізмі типу «гвинт-кулькова гайка» більший тиск подається або за поршень, або до нього, допомагаючи тому переміщатися уздовж рульового валу. В рейковому механізмі мастило подається в корпус рейки по одну або іншу сторону поршня, пов'язаного з рейкою, і підштовхує її вправо або вліво. Коли рульове колесо вже повернуто до упору, спрацьовують запобіжні клапани, скидаючи тиск масла і запобігаючи пошкодження деталей механізму. Недоліком систем з гідропідсилювачем є мале реактивне зусилля на кермі.

Щоб домогтися гарної керованості рульового приводу і водночас не зробити рульове колесо занадто тугим, необхідно оптимізувати параметри, що впливають на величину зусилля, що повертає: продуктивність насоса, характеристики золотника, жорсткість торсіона, геометрію передньої підвіски, кути установки коліс. Крім того певний вплив на реакцію рульового колеса чинять параметри задньої підвіски, характеристики шин і навіть жорсткість кузова на скручування. Оптимізація характеристики рульового керування складається в забезпеченні певної залежності між реактивним зусиллям на рульовому колесі і поточною швидкістю руху автомобіля, рисунок 4.



Рисунок 4. Регульовальні характеристики підсилювача рульового керування

Далі розглянемо пристрій мехатронних систем провідних виробників різного принципу побудови і функціональних можливостей.

2. Характеристика датчиків мехатронних систем

У системах рульового керування застосовуються датчики різного призначення і принципу побудови [7]:

- крутного моменту рульового колеса;
- кута повороту рульового колеса;
- сумарного кута повороту рульового механізму;
- швидкості руху автомобіля;
- частоти обертання ДВЗ;
- відхилення від заданого курсу (поперечного прискорення).

Датчик крутного моменту рульового колеса встановлюється на автомобілях з електропідсилювачем керма (ЕПК). У деяких автомобілях датчик крутного моменту працює в парі з датчиком, який контролює кут повороту керма.

Розрізняють декілька конструкцій датчиків крутного моменту на рульовому колесі, побудованих на різних фізичних принципах: оптичний, індуктивний, датчик Холла, магніторезистивний датчик. Всі перераховані види датчиків безконтактні вимірювальні пристрої, рисунок 5.



а – устрій; б, в – конструктивні виконання
Рисунок 5. Датчики крутного моменту

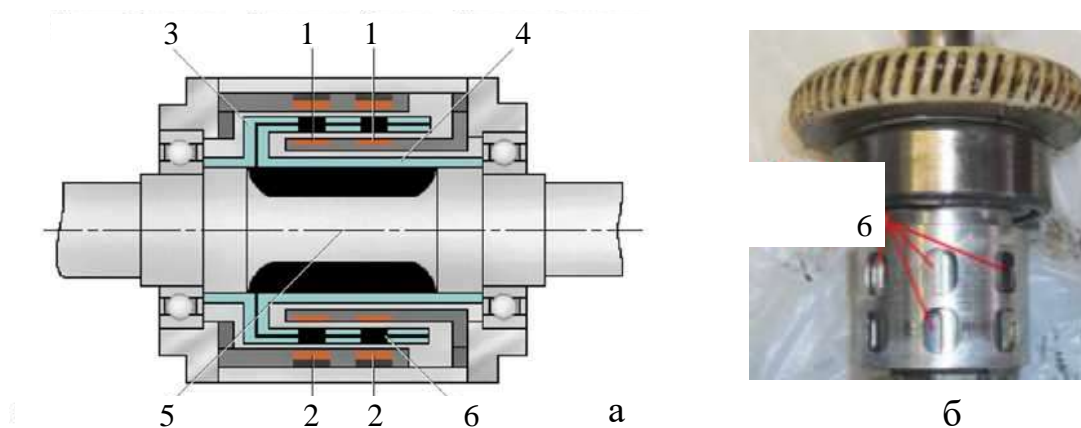
На рисунку 5 позначено позиції: 1 – вхідний вал; 2 – кільцевий магніт; 3 – датчик Холла; 4 – вихідний вал-шестерня; 5 – торсіон; 6, 7 – перший та другий статори. Крім фізичних принципів, датчики розрізняються швидкістю і точністю вимірювання.

Найпоширенішим є датчик крутного моменту, побудований **на ефекті Холла**. Встановлюється датчик крутного моменту на рульовій колонці. За допомогою торсіона-стрижня рульовий вал і вал-шестерня зв'язуються між собою, а на корпусі встановлюється чутливий елемент. Щоб збільшити чутливість і надійність вимірювань в конструкції датчика крутного моменту встановлюється два датчика Холла. Під час повертання рульового колеса торсіон починає обертатися і закручуватися, що призводить в рух багатополосний магніт. У той час, коли зубці статора знаходяться навпроти полюсів магніту, утворюється максимальний магнітний імпульс, який сприймається датчиком Холла.

У **магніторезистивному датчику крутного моменту**, вимірювання відбуваються схожим чином, шляхом обертання на рульовому валу двох магніторезистивних чутливих елементів, які вимірюють магнітний потік і утворюють електричний сигнал. У разі виходу з ладу датчика крутного моменту рульового колеса відбувається автоматичне плавне відключення підсилювача.

Індуктивний датчик крутного моменту складається з двох концентричних циліндрів з отворами (слотами перфорації), які утворюють магнітну систему. В статорній частині датчика розташовані дві пари концентричних котушок, що утворюють два ідентичних трансформатора, рисунок 6, а.

На рисунку 6 позначено позиції: 1 – первинні обмотки; 2 – вторинні обмотки; 3 – зовнішній циліндр; 4 – внутрішній циліндр; 5 – торсіон; 6 – слоти перфорації. Зусилля, прикладене до керма, викликає поворот валу роторної частини датчика із зовнішнім перфорованим циліндром. Деформації торсіона призводять до радіального зміщення слотів зовнішнього і внутрішнього циліндрів відносно один одного. В результаті цього, пропорційно прикладеному зусиллю, змінюється перетин сердечника (феромагнітної маси) між зовнішніми і внутрішніми котушками.



а – устрій; б – зовнішній вигляд

Рисунок 6. Індуктивний датчик крутного моменту

При цьому, для одного трансформатора деформації кручення призводять до збільшення магнітного зв'язку котушок, для другого навпаки – до зменшення. Таким чином, змінна напруга (частота 20 кГц) трансформується в диференціальний сигнал на вторинних обмотках датчика. Збільшення або зменшення середнього значення диференційної напруги буде визначати напрямок і значення прикладеного крутного моменту.

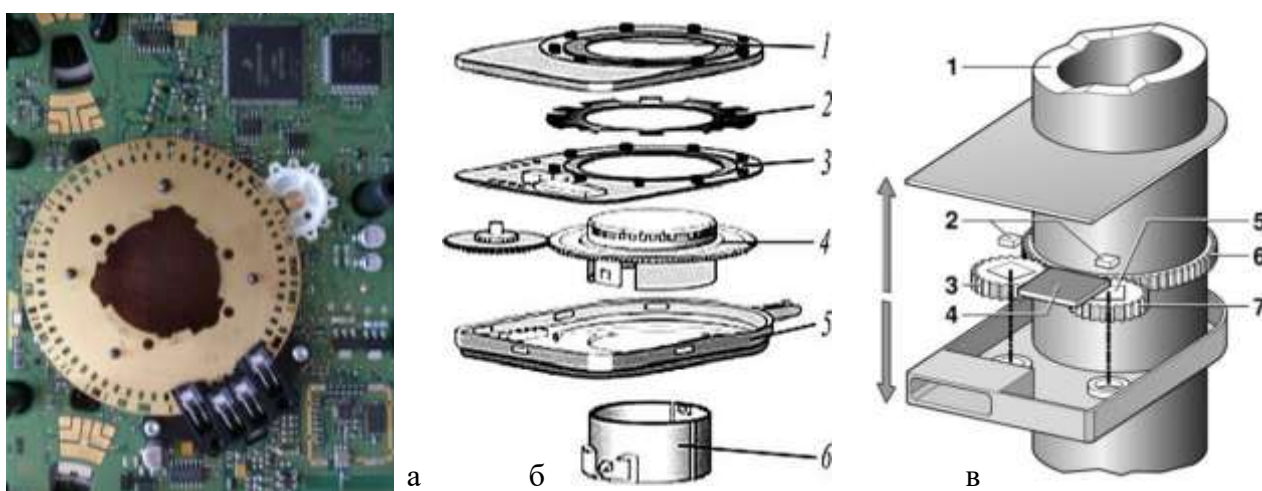
Датчики кута повороту рульового колеса (ДКПР) на відміну від інших датчиків кутового переміщення характеризується широким діапазоном вимірювань (понад 720 градусів в кожну сторону). Датчик встановлюється на рульовій колонці між перемикачем і рульовим колесом, іноді – на рульовому механізмі. Датчик ДКПР служить для визначення кута повороту, напрямку повороту і кутової швидкості рульового колеса. Принцип будови та конструкція датчика визначається потребами конкретної системи автомобіля, рисунок 7.



Рисунок 7. Варіанти конструкцій датчиків кута повороту рульового колеса

Датчики ДКПР побудовані за різними фізичними принципами вимірювань: потенціометричні, оптичні, магнітоелектричні, магніторезистивні.

Потенціометричний ДКПР включає два потенціометра, закріплених на рульовій колонці. Один потенціометр зміщений відносно другого на 90 градусів, що дозволяє визначати відносний і абсолютний кути повороту рульового колеса. Зміна опору потенціометра пропорційно куту повороту рульового колеса. Контактний спосіб вимірювання обмежує застосовуються датчиків потенціометричного типу. Більш досконалим сенсорним пристроєм є безконтактний **оптичний датчик ДКПР**, який об'єднує кодувальний диск, джерела випромінювання, світлочутливі елементи, блок визначення повних обертів, рисунок 8, а.



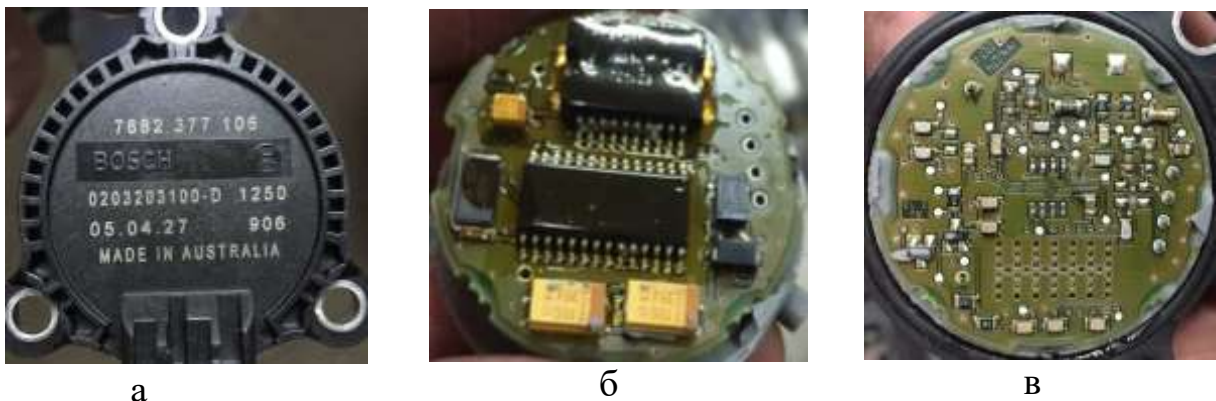
а – з фотоелементами; б – з елементами Холла; б – з магніторезисторами
Рисунок 8. Устрій датчиків кута повороту рульового колеса

Кодувальний диск жорстко закріплений на рульовій колонці. Він має два сегментарних кільця – внутрішнє і зовнішнє. На внутрішньому кільці рівномірно по колу розміщені прямокутні отвори, на зовнішньому кільці отвори розташовані нерівномірно. Конструкція внутрішнього кільця дозволяє визначати величину кута повороту рульового колеса. За допомогою зовнішнього кільця оцінюється напрямок обертання рульового колеса в будь-який момент часу. Між кільцями розташовані джерела випромінювання (світлодіоди). Зовні кільце встановлені світлочутливі елементи (фоторезистори). При попаданні освітлення на фоторезистори датчика формують сигнали. На підставі імпульсів напруги сформованих фоторезисторами, електронний блок датчика розраховує кут і напрямок повороту рульового колеса.

Магнітоелектричний ДКПР, рисунок 8, б включає: диск з дев'ятьма постійними магнітами 1; кодувальний диск 2; диск з елементами Холла 3; шестерню редуктора передачі повороту рульового колеса 4; корпус датчика 5; сполучну втулку 6. Поточний код сигналу датчика сприймається мікро контролером, який формує відповідний сигнал керування виконавчим пристроєм системи.

Магніторезистивний ДКПР, рисунок 8, в активується рульовою колонкою 1 і складається з: елементів магніторезистивного датчика 2; вимірювальної шестерні 3; електронної плати 4; постійних магнітів 5; провідною шестерні 6; вимірювальної шестерні 7. Магніторезистивний ДКПР є більш універсальним пристроєм, тому що крім відносного і абсолютного кута повороту рульового колеса дозволяє визначати його кутову швидкість. Конструкція датчика включає два магніторезистивних елемента, закріплених в корпусі датчика. Магніторезистори активізуються двома рухомими магнітами. Привідні зубчасті колеса мають різну кількість зубців (відрізняється на одиницю).

Датчик сумарного кута повороту рульового механізму (ДСКР) побудований аналогічно ДКПР, рисунок 9.



а

б

в

а – вигляд у зборі; б – компоновка елементів в – друкований монтаж

Рисунок 9. Датчик сумарного кута повороту рульового механізму

Датчики, які вимірюють швидкість обертання, мають магнітоелектричний або індукційний принцип побудування, рисунок 10.



а

б

в

а – швидкості руху автомобіля; б – швидкості обертання коліс; в – частоти обертання ДВЗ

Рисунок 10. Зовнішній вигляд датчиків суміжних електронних систем

Цифровані сигнали цих датчиків зазвичай, отримуються від суміжних систем керування, де вони використовуються, як основні.