



Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя



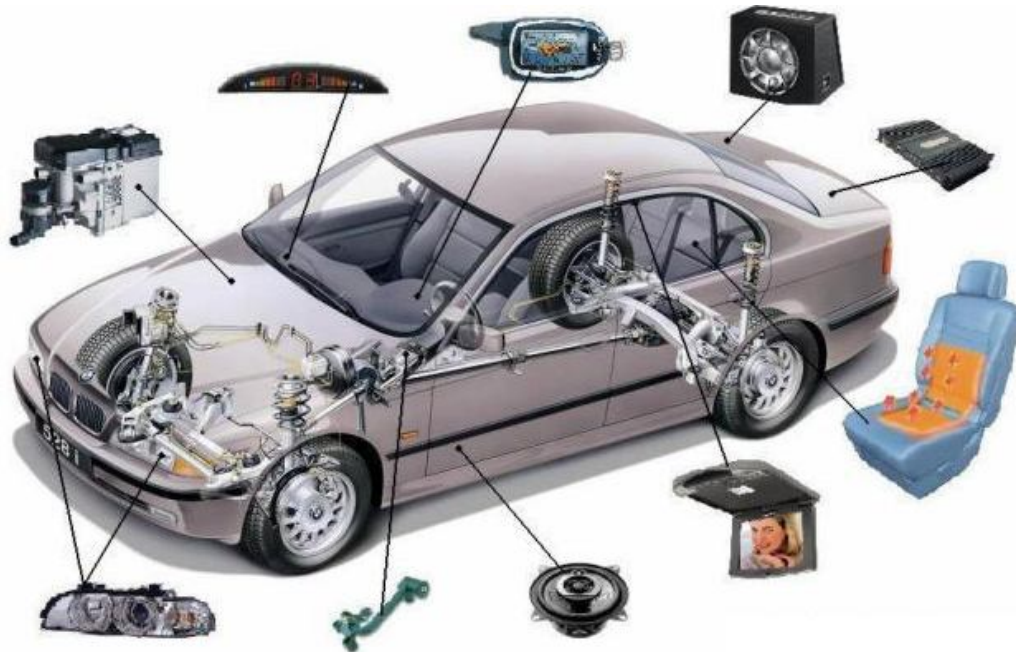
# НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

з дисципліни

**«ЕЛЕКТРОННЕ ТА МІКРОПРОЦЕСОРНЕ  
ОБЛАДНАННЯ АВТОМОБІЛІВ»**

для студентів усіх форм навчання

освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю  
274 «Автомобільний транспорт»



Тернопіль 2016

УДК 629.113.066  
ББК 39.33-5

Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів: навч. посіб. / Ю.І. Пиндус, Р.Р. Заверуха. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. – 209 с.

Навчальний посібник з дисципліни «Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів» розроблений відповідно до ОПП, ОКХ та навчального плану підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт».

В навчальному посібнику дано вичерпні теоретичні відомості по тенденції розвитку автомобільного бортового електричного та електронного устаткування; датчиках новітніх автомобільних електронних систем; електронному керуванню автомобільним двигуном; функціональних перетворювачах в автомобільних системах керування; спеціалізованих бортових системах автомобілів; автомобільних мультиплексних системах передачі інформації. Проаналізовано протокол CAN для автомобільних мультиплексних систем. Дано детальний аналіз системі керування курсовою стійкістю автомобіля та електромагнітному приводу газорозподільних клапанів в поршневому двигуні внутрішнього згоряння. Подано вичерпну і детальну інформацію про перспективи розвитку гібридних автомобілів та електромобілів В кожній з висвітлених тем ставиться наголос на детальну будову, використання, і технічні характеристики автотронної системи чи її компонента.

Укладачі:

к.т.н., доц. Пиндус Ю.І.  
асист. Заверуха Р.Р.

Рецензент:

к.т.н., доц. Медвідь Р.В.

*Розглянуто та схвалено на методичному семінарі кафедри автомобілів (протокол № 1 від 25.08.2016).*

*Рекомендовано до друку методичною радою факультету інженерії машин, споруд та технологій (протокол № 1 від 29.08.2016).*

Відповідальний за випуск: к.т.н. Клендій В.М.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>Тема 1 Тенденції розвитку автомобільного бортового електричного та електронного устаткування .....</b>	<b>10</b>
1.1 Перспективи розвитку електричного та електронного устаткування.....	10
1.2 Розвиток і удосконалення автотронних систем.....	11
1.3 Автотронна система керування курсовою стійкістю руху автомобіля.....	11
1.4 Автотронне керування насос-форсунками системи впорскування палива....	14
1.5 Перспективи розвитку автомобільних бортових пристроїв.....	16
1.6 Удосконалення електропостачання автомобільних електронних систем.....	17
1.7 Сучасна мікропроцесорна система запалювання з низькорівневим багатоканальним розподілом енергії по свічках.....	17
<b>Тема 2 Датчики новітніх автомобільних електронних систем.....</b>	<b>18</b>
2.1 Передумови створення датчиків АЕС. ....	19
2.2 Датчики тиску. ....	23
2.2.1 Датчики барометричного тиску і абсолютного тиску у впускному колекторі.	27
2.2.2 Датчики тиску в рідинних середовищах. ....	27
2.2.3 Нові застосування датчиків тиску. ....	27
2.2.4 Нові конструкції датчиків тиску. ....	29
2.3 Датчики температури і вологості. ....	32
2.3.1 Вузли автомобіля, в яких проводиться вимірювання температури. ....	33
2.3.2 Термістори. ....	35
2.3.3 Термопари. ....	37
2.3.4 Інші типи датчиків температури. ....	37
2.3.5 Датчики вологості. ....	38
2.4 Датчики витрати рідини і газів. ....	38
2.4.1 Загальні відомості про датчики витрати рідини і газів. ....	38
2.4.2 Витратоміри і масшметри. ....	39
2.4.3 Датчик Кармана. ....	39
2.5 Датчики складу вихлопних газів. ....	41
2.5.1 Цирконієві й титанові датчики концентрації кисню у вихлопних газах....	41
2.5.2 Датчики кисню для двигунів, що працюють на збіднених сумішах. ....	42
2.5.3 Вплив різних факторів на характеристики датчиків кисню. ....	43
2.5.4 Газоаналізатори. ....	44
2.6 Датчики кутових і лінійних переміщень і положень.....	44
2.6.1 Загальні відомості про датчики кутових і лінійних переміщень і положень.	45
2.6.2 Контактні датчики. ....	45
2.6.3 Безконтактні датчики. ....	47

2.7 Радарні та інші спеціальні датчики. ....	51
2.7.1 Радарні і ультразвукові датчики. ....	51
2.7.2 Датчики прискорення (акселерометри). ....	52
2.7.3 Датчик детонації. ....	54
2.7.4 Датчик змісту метанолу в паливі. ....	55
2.7.5 Датчики стану електричних ланцюгів. ....	56
2.7.6 Інтеграція датчиків. ....	56
<b>Тема 3 Електронне управління автомобільним двигуном.....</b>	<b>57</b>
3.1 Необхідність електронного управління автомобільним двигуном .....	57
3.1.1 Зменшення забруднення навколишнього середовища вихлопними газами	58
3.1.2 Екологія бензинових двигунів .....	58
3.1.3 Каталітичний газонейтралізатор .....	58
3.1.4 Кут випередження запалювання .....	58
3.1.5 Екологія дизельних л живильників .....	59
3.1.6 Зменшення споживання палива .....	59
3.1.7 Діагностика .....	59
3.2 Функції електронних систем управління бензиновим двигуном.....	60
3.2.1 Визначення необхідної кількості палива .....	60
3.2.2 Управління по сигналу датчика кисню .....	60
3.2.3 Управління кутом випередження запалювання.....	62
3.3 Режими роботи системи управління двигуном .....	62
3.3.1 Запуск двигуна .....	62
3.3.2 Прогрівання двигуна .....	62
3.3.3 Робота в перехідних режимах .....	63
3.3.4 Повне навантаження .....	63
3.3.5 Робота на холостих обертах .....	63
3.4 Системи подачі палива .....	64
3.4.1 Класифікація систем.....	64
3.4.2 Карбюратор з електронним управлінням .....	65
3.4.3 Системи з центральним уприскуванням палива .....	66
3.4.4 Системи з розподіленим уприскуванням палива.....	67
3.5 Системи електроіскрового запалювання .....	68
3.6 Комплексні системи управління двигуном.....	68
3.7 Діагностичні функції системи управління двигуном.....	70
3.7.1 Основні відомості про стандарт OBD-II.....	70
3.7.2 Структура програмного забезпечення систем OBD-II.....	71
3.7.3 Монітор каталітичного нейтралізатора.....	72
3.7.4 Монітор датчиків кисню.....	72
3.7.5 Монітор пропусків у системі запалювання.....	72
3.7.6 Монітор паливної системи.....	73
3.7.7 Монітор системи уловлювання парів бензину.....	74
3.7.8 Монітор системи рециркуляції вихлопних газів.....	75
3.7.9 Монітор інжекції вторинного повітря (AIR-monitor) в каталітичний нейтралізатор.....	76

#### **Тема 4 Функціональні перетворювачі в автомобільних системах керування**

4.1. Функціональний перетворювач.....	76
4.2. Лінгвістичні перетворювачі .....	77
4.3. Продукційні правила .....	79
4.4. Застосування нечіткої логіки управління.....	81

## **Тема 5 Спеціалізовані бортові системи автомобілів.....83**

5.1 Сучасна інформаційна система водія .....	83
5.1.1 Системи розпізнавання голосу і перетворення тексту в мову.....	85
5.1.2 Бортовий комп'ютер .....	85
5.1.3 Інформація про стан бортових систем автомобіля .....	87
5.2 Бортові засоби відображення інформації .....	88
5.2.1 Стрілочні індикатори .....	89
5.2.2 Цифрові індикатори (дисплеї).....	89
5.2.3 Індикатори на світлодіодах .....	90
5.2.4 Рідкокристалічні дисплеї .....	90
5.2.5 Вакуумні флуоресцентні індикатори.....	91
5.2.6 Електронно-променеві трубки .....	92
5.3 Приладові панелі .....	93
5.4 Відображення інформації на лобовому склі.....	94
5.5 Перспективні засоби відображення інформації.....	95
5.6 Навігаційні системи автомобіля .....	96
5.6.1 Функції, структура і складові компоненти навігаційної системи .....	96
5.6.2 Датчик азимута (компас) .....	97
5.6.3 Датчик швидкості обертання коліс.....	98
5.6.4 Гіроскоп .....	99
5.7 Навігаційне числення .....	100
5.8 Електронні картки .....	101
5.8.1 Орієнтування па карті місцевості але конфігурації пройденого шляху... 101	
5.8.2 Вибір оптимального маршруту ПО .....	102
5.9 Супутникове позиціонує система GPS.....	103
5.10 Приклади автомобільних навігаційних систем .....	104
5.11 Системи охоронної сигналізації і протиугонні пристрої .....	106
5.11.1 Електронні протиугінні системи .....	106
5.11.2 Дистанційне керування протиугінними пристроями.....	107
5.11.3 Характеристики протиугінних систем з дистанційним управлінням ... 108	
5.11.4 Робота протиугінної системи з дистанційним управлінням .....	109
5.11.5 Види злому і захист від них .....	110
5.11.6 Шифратори і дешифратори динамічного коду Keeloq .....	111
5.11.7 Імобілайзер з транспондером .....	113
5.11.8 Конфігурація протиугінної системи .....	114
5.11.9 Додаткові датчики.....	115

## **Тема 6 Автомобільні мультиплексні системи передачі інформації.....116**

6.1 Поняття про автомобільні мультиплексні системах .....	116
---	-----

6.2 Локальні обчислювальні мережі .....	119
6.2.1 Еталонні моделі взаємодії систем .....	119
6.2.2 Протоколи комп'ютерних мереж .....	121
6.2.3 Фізична передача середовище в ЛВС .....	121
6.2.4 Основні топології ЛОМ .....	123
6.2.5 Методи доступу до передавальної середовищі.....	124
6.2.6 Тимчасове та частотне ущільнення сигналів в мультиплексній система.	124
6.3 Приклади автомобільних мультиплексних систем .....	125
6.3.1 Клас А .....	125
6.3.2 Клас В.....	126
6.3.3 Клас С.....	129
6.4 Протоколи високих рівнів .....	129
6.4.1 Транспортний рівень .....	130
6.4.2 Прикладний рівень .....	132
6.4.3 Управління мережею (диспетчеризація) .....	133
6.5 Протоколи низького рівня (шинні) .....	134
6.5.1 Канал зв'язку.....	135
6.5.2 Підрівні MDI і PMA .....	136
6.5.3 Сигнали на фізичному рівні (підрівень PLS).....	136
6.5.4 Управління доступом до середовища (підрівень MAC).....	137
<b>Тема 7 Протокол CAN для автомобільних мультиплексних систем.....</b>	<b>139</b>
7.1 Попередні зауваження.....	139
7.2 Архітектура протоколу CAN .....	139
7.3 Передає середовище і нижні підрівні протоколу CAN.....	140
7.4 Підрівень PLS .....	142
7.5 Підрівень MAC (Управління доступом до середовища в CAN) .....	144
7.6 Підрівень LLC .....	149
7.6.1 Можливості підрівня .....	149
7.6.2 Обмеження поширення помилок .....	150
<b>Тема 8 Система управління курсовою стійкістю автомобіля.....</b>	<b>152</b>
8.1 Попередні відомості.....	152
8.2 Концепція та варіаційні параметри системи VPC .....	153
8.3 Функціональна блок-схема системи VDC.....	156
8.4 Технічна реалізація системи VDC .....	158
8.4.1 Основні компоненти .....	158
8.4.2 Датчики системи VDC .....	159
8.4.3 Гідросистема .....	160
8.4.4 Електронний блок управління.....	161
8.5 Результати експериментальних досліджень .....	161
8.5.1 Випробування автомобіля з системою VDC при різкій зміні напрямку руху	
8.5.2 Гальмування при русі автомобіля по гладкому льоду .....	163
8.5.3 Випробування автомобіля при русі по замкнутій траєкторії зі збільшенням швидкості .....	163
8.6 Надійність системи VDC. Пошук несправностей.....	164

<b>Тема 9 Електромагнітний привід газорозподільних клапанів в поршневому двигуні внутрішнього згорання.....</b>	<b>166</b>
9.1 Попередні зауваження.....	166
9.2 Механічні клапани.....	166
9.3 Електромагнітні клапани.....	167
9.4 Електромагнітний клапан з пружинним ударним пристроєм .....	168
9.5 Електромагнітний клапан з пружинною амортизацією .....	169
9.6 Електромагнітний клапан з демпферним пристроєм .....	171
9.7 Електромагнітний клапан без поворотної запірної пружини .....	173
9.8 Магнітоелектричний клапан з гідравлічним амортизатором .....	175
9.9 Електромагнітний клапан з пневматичним амортизатором .....	182
9.10 Висновки.....	184
<b>Тема 10 Електромобілі.....</b>	<b>185</b>
10.1 Загальні відомості про електромобілі.....	185
10.2 Експлуатаційні характеристики електромобілів.....	187
10.3 Вузли, агрегати та системи електромобіля .....	189
10.3.1 Класична схема .....	189
10.3.2 Компоненти сучасного електромобіля .....	190
10.4 Зарядні та захисні пристрої .....	191
10.4.1 Зарядні пристрої .....	191
10.4.2 Захисні пристрої .....	193
10.5 Електродвигуни та приводні системи електромобіля.....	194
10.5.1 Двигуни змінного струму .....	194
10.5.2 Електродвигуни постійного струму .....	195
10.5.3 Безколекторні електродвигуни постійного струму .....	195
10.5.4 Електроприводні системи .....	196
10.5.5 Електропривод постійного струму .....	196
10.5.6 Привід безколекторних двигунів постійного струму.....	197
10.5.7 Електропривод змінного струму .....	197
10.5.8 Напівпровідникові ключові пристрої .....	198
10.5.9 Коробки перемикачів передач для електромобілі.....	199
10.5.10 Безпосередній привід.....	200
10.6. Тягові акумуляторні батареї .....	200
10.6.1 Вимоги до акумуляторів електромобілів .....	201
10.6.2 Робота акумулятора .....	201
10.6.3 Типи акумуляторів для тягових акумуляторних б: 1.; Арен .....	201
10.6.4 Перспективні джерела енергії для електромобілів .....	201
10.7 Допоміжні бортові системи електромобіля .....	203
10.7.1 Система управління електромобілем .....	203
10.7.2 Електромобільних система клімат-контролю .....	203
10.7.3 Низьковольтні джерела живлення .....	204
10.8 Інфраструктура .....	204
10.8.1 Електричні мережі .....	204
10.8.2 Вищі гармоніки і коефіцієнт потужності .....	205

10.8.3 Електромагнітне випромінювання .....	205
10.9 Гібридні електромобілі .....	205
10.9.1 Послідовна схема .....	206
10.9.2 Паралельна схема .....	206
10.9.3 Змішана схема .....	206

## Вступ

Автомобільна промисловість відіграє провідну роль у індустрії будь-якої країни і визначає рівень його економічного розвитку. Разом з тим завдання виробництва автомобілів залежить від споживчого попиту. У першій половині ХХ ст. в нашій країні головне завдання полягало в організації масового виробництва автомобілів з це – наливаю забезпечення потреб народного господарства. До автомобілів в першу чергу пред'являлися вимоги надійності, довговічності і міцності конструкції з урахуванням особливостей наших дорожніх умов і одночасно невисокої вартості. Тому наші автомобілі відрізнялися конструктивною простотою і на них встановлювалося тільки електричне обладнання. У другій половині ХХ ст. індустріально-економічний рівень і наукові досягнення суттєво зросли. Це дозволило враховувати такі споживчі вимоги, як підвищення рівня безпеки автомобіля, екологічність і комфорт управління шляхом ускладнення конструкції, що призвело до його подорожчання. Розвиток електронної промисловості дало можливість вирішувати зазначені завдання шляхом впровадження в автомобіль спочатку порівняно простих вузлів і приладів з електронними елементами. В даний час ми вже не можемо уявити собі виробництво автомобіля без достатньо складних електронних систем автоматичного, управління інжекторними двигунами, антиблокувальними і противобуксовочними гальмівними пристроями, динамічної і курсовою стійкістю, протиугінними пристроями, системами конденсації та ін.

Сучасна наука про автомобільний бортовому обладнанні розвивається у двох напрямках:

В напрямку пошуку способів поліпшення параметрів і характеристик існуючих пристроїв, систем, апаратів та приладів. В напрямку розробки нових функціональних вузлів, систем і блоків для потреб автоматизації та механізації процесів на автомобілів.

Другий напрямок стало можливим завдяки досягненням в області напівпровідникової і мікроелектронної технології. В першу чергу на автомобілі з'явилися такі нові системи:

- Мікропроцесорні системи запалювання;
- Системи упорскування палива для бензинових двигунів;
- Системи очищення вихлопних відпрацьованих газів (ОГ);
- Системи автоблокування гальм;
- Системи допоміжної механізації в пристроях комфортні призначення.

Сукупність систем автомобільної бортової автоматики получила назву «Автотроне обладнання» або «Автотроніка».

Компонентами автотронного обладнання можуть бути пристрої:

- Електричні;
- Електронні;
- Електронно-обчислювальні;
- Механічні;



- Пневматичні;
- Гідравлічні та ін.

З цієї причини автотронні системи прийнято класифікувати за основним функціональним призначенням:

- навісне обладнання:
  - Система електропостачання;
  - Система електростартерного пуску двигуна;
  - Система електроіскрового запалювання;
  - Система паливного харчування з підсистемою випуску ОГ;
- комфортне обладнання:
  - Внутрішнє освітлення та опалення;
  - Вентиляція та кондиціонування з підсистемою електро підігрів сидінь;
  - Електроприводи склопідіймачів, люка на даху, радіоан-тінни;
  - Центральний замок дверей;
  - Прикурювача;
  - Засоби протиаварійного захисту водія і пасажирів;
  - Засоби теле-аудіо-відео-радіо та телефонного зв'язку;
- функціональне обладнання:
  - Зовнішнє освітлення і сигналізація;
  - Контрольно-вимірювальні прилади;
  - Склоочисники і склообмивачі;
  - Зовнішні дзеркала;
  - Електропривід та електропідігрів зовнішніх дзеркал заднього виду;

• механічне або гідравлічне обладнання трансмісії і ходової частини. В останні роки механічне або гідравлічне обладнання автоматизуються із застосуванням електронного управління.

Таким чином, автотронна система - це бортовий комбінований комплекс автоматичного управління, що включає різні технічні пристрої, з'єднані в єдине ціле для виконання конкретного неелектричного дії. Наприклад, автотронна система уприскування палива - це комплекс, що включає:

- Електронний блок управління уприскуванням;
- Електричну схему з'єднань;
- Вхідні датчики, що працюють від неелектричних сигналів первинних датчиків;
- Неелектричні датчики з механічними з'єднувачами;
  - Вихідні виконавчі пристрої неелектричного принципу дії (форсунки, гідравлічні та пневматичні клапани);
  - Механічний пристрій регулювання частоти обертання колінчастого вала при роботі двигуна на холостому ходу.

Електроніка застосовується на автомобілі у випадках, коли потрібно невеликий енергетичний рівень: фіксація, перетворення, оброблення, передавання, запам'ятовування, обчислення або кодування інформації.

Там де потрібен високий рівень енергетичних перетворень-ний, використовуються електротехнічні пристрої.

Головною особливістю автотронної системи є обов'язкове наявність у її складі електронного блоку управління (ЕБУ) усіма іншими компонентами системи. ЕБУ може

працювати як в аналоговому, так і в дискретному або цифровому режимі, але він завжди має справу з електричними сигналами.

Для узгодження сигналів і впливів, що мають різну енергетичні природу, ЕБУ по входу оснащений перетворювачами не електричних впливів в електричні сигнали (вхідні датчики).

## **Тема 1 Тенденції розвитку автомобільного бортового електричного та електронного устаткування**

1.8 Перспективи розвитку електричного та електронного устаткування.

1.9 Розвиток і удосконалення автотронних систем.

1.10 Автотронна система керування курсовою стійкістю руху автомобіля.

1.11 Автотронне керування насос-форсунками системи впорскування палива.

1.12 Перспективи розвитку автомобільних бортових пристроїв.

1.13 Удосконалення електропостачання автомобільних електронних систем.

1.14 Сучасна мікропроцесорна система запалювання з низькорівневим багатоканальним розподілом енергії по свічках.

### **1.1 Перспективи розвитку електричного та електронного устаткування**

Тенденції розвитку автомобільного бортового електричного і електронних приладів

Сучасний автомобіль складається з чотирьох основних агрегатів: двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), кузова, шасі і ходової частини. Ці агрегати складаються із різних функціональних систем, що забезпечують виконання головної функції автомобіля — перевезення вантажів і пасажирів. Щоб транспортування було безпечними, а пасажирам і комфортним, щоб агрегати, вузли, блоки, системи працювали безвідмовно, автомобілем широко використовуються електротехнічні пристрої і засоби електронної автоматики.

► Останніми роками технічна оснащеність автомобілів електронною бортовою автоматикою значно зростає.

Нещодавно мікропроцесорні системи запалювання, електронні системи управління гідравлічними гальмами, системи впорскування бензину, бортова самодіагностика вважалися останніми досягненнями у сфері автомобільного апарату- і приладобудування. Тепер їх відносять до класичних систем і встановлюють на кожен серійний автомобіль.

На сьогодні наново розроблювані моделі автомобілів додатково починають встановлювати цілком нетрадиційні бортові автоматичні системи, до яких належать: інформаційна система водія з мікропроцесорним забезпеченням; супутникова навігаційно-пошукова система; радарні і ультразвукові системи захисту автомобіля від зіткнення і викрадення; системи підвищення безпеки і комфорту людей салону; система круїз-контролю; система «електронна карта»; мультиплексний електропровід.

Паралельно проводяться пошуки ефективніших комп'ютерних технологій обробки інформації в бортових електронних системах. Розроблені та вже знаходять застосування звані лінгвістичні функціональні перетворювачі, працюючі з нечіткими підмножинним лінгвістичних змінних, виражених окремими словами чи цілими пропозиціями на

природній (англійській) чи штучній (комп'ютерній) мові. При деякому ускладненні логічних і арифметичних операцій на мікро-ЕВМ це дозволяє підвищити точність і швидкість обробки сигналів. Як наслідок, значно ускладнився інтерфейс і виникла потреба у введенні CAN-протоколу в мультиплексу систему.

На базі електронних систем автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д) і гальмами (ЕСАУ-Т) розроблено й вже застосовується гіроскопічна система VDC підвищення курсової стійкості автомобіля на дорозі за скрутних умов руху. Система VDC працює за принципом запрограмованого під позаштатні умови руху спільного на крутний момент ДВЗ (через систему ASR) і анти-блокувальну систему гальм ABS, ніж виключається бічне ведення (знос) автомобіля при поворотах на великій швидкості чи слизькій дорозі. Водію у разі відводиться роль активного спостерігача, контролюючого і корегуючого поведінку автомобіля.

Інтенсивно ведуться наукові дослідження можливості застосування електромагнітних клапанів з електронним управлінням у газорозподільному механізмі (ГРМ) поршневого ДВЗ. Ідею замінити класичні механічні клапани електромагнітними ще в 50-х рр. ХХ ст. запропонував професор Московського автомобільно-дорожнього інституту (МАДІ), доктор технічних наук Володимир Митрофанович Архангельський. Що ж це насправді дає поршневому ДВЗ, добре відомо теоретично [24]. Але практична реалізація ідеї виявилася виключно трудомістким завданням, над рішенням якої працюють фахівці багатьох закордонних фірм і вітчизняні розробники. Теоретичні і експериментальні дослідження вже завершено. Тепер йдуть розробки конструкторських варіантів виконання ГРМ з електромагнітними клапанами.

## **1.2 Розвиток і удосконалення автотронних систем**

Поруч із удосконаленням автомобільних бензинових ДВЗ дедалі більше активізуються робота зі створенню екологічно чистих силових установок для електромобілів. Вважають, що гідною заміною міському автомобілю може бути гібридний електромобіль, електронні системи управління яким теж належать до сучасних новацій у сфері автомобілебудування.

За сучасних умов глобальною вимогою до новітніх автомобільних електричних і електронних систем є неухильне виконання міжнародних стандартів OBD-II (США) і EOBD-II (EU), які теж продовжують вдосконалюватися.

► Крім специфіки виконуваних функцій новітні системи автомобільної бортової автоматики кардинально відрізняються від класичних, суто електронних систем широким розмаїттям принципів дії які входять у їх складові підсистеми. Залежно від розв'язуваної задачі до нової системи в якості основних компонентів можуть входити як електричні і електронні вузли і блоки, а й механічні, гідравлічні, світлооптичні, ультразвукові й будь-які інші пристрої, які мають неелектричну природу функціонування. Їх роль в реалізації заданої функції управління головна, хоча всі інформаційні процеси у системі реалізуються на рівні електронних блоків управління (ЕБУ), а новітніх системах — в бортових мікропроцесорах. Такі великі складові комплекси управління неспроможні віднести ні до з механічних, ні до електричних, ні до електронних, ні з будь-якою іншою «чистою» за принципом дії системою. У цьому новітні системи автомобільної бортової автоматики, встановлювані на концептуальні автомобілі, отримали повна назва — автотронні системи [3].

### 1.3 Автотронна система керування курсовою стійкістю руху автомобіля

Автотронна система, керуючи неелектричними процесами через неелектричну периферію на виході, сама управляється від сигналів, які мають неелектричну природу, створених неелектричною вхідною периферією.

► Наприклад, автотронна система VDC (управління курсової стійкістю автомобіля), функціональні взаємозв'язки якої з водієм та дорогою показані на рисунку 1.1, використовуює у ролі вхідної інформації швидкість руху, кути нахилення кузова, різницю частот обертання коліс, кут повороту керма, атмосферні умови, а в деяких варіантах — тиск у шинах та стан дорожнього покриття.

Опис умовних позначень на рисунку 1.1.

I. **Географічні умови:** звивистість дороги, спуски, підйоми, повороти, перехрестя доріг, переїзди.

II. **Дорожні знаки:** тип дорожнього покриття (гравій, бетон, асфальт); асфальт сухий, мокрий, зледенілий; освітлення дороги; щільність транспортного потоку.

III. **Кліматичні умови:** атмосферні - температура, вологість, тиск; температура асфальту.

IV. **Техногенні умови:** зчеплення коліс з дорогою за станом протекторів шин; швидкість обертання коліс; *швидкість шастання*; бічне ведення автомобіля, бокове ведення коліс, бічне прискорення.

A. Блок датчиків: кута повороту керма; кута повороту кузова автомобіля навколо вертикальної осі (гіроскоп); бічного прискорення.

B. УРВ — управляючі реакції водія, є відгуком суб'єктивного мислення на дорожні умови руху; виявляються індивідуально залежно від фізичного й психічного стану людини.

C. Блок датчиків: температури, тиску, вологості у атмосфері, температури асфальту (по тиску в шинах).

D. Блок колісних датчиків (ДК) ABS і вчислених в ЕБУ системи VDC неелектричних вхідних параметрів —  $\mu$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\nu$  (див. далі рисунок 8.5).

E. Центральний бічний комп'ютер (мікропроцесор МП), куди інтегровані всі логічні і обчислювальні функції чотирьох автоматичних систем управління VDC, ADS, ASR, ABS. Містить оперативну (ОЗУ) і постійну (ПЗУ) пам'ять, а також вхідні аналого-цифрове (АЦП) і вихідні цифроаналогові (ЦАП) перетворювачі.

F. Блок кінцевих перетворювачів електричних сигналів в неелектричні впливу:

а) ДІС/ВП — драйвери інформаційної системи водія (ДІС) і візуальний перетворювач (ВП) електричного сигналу в оптичне зображення;

б) ЕДД/КД — електродвигун (ЕДД) і клапан (КД) демпфірування активної підвіски (системи ADS);

в) ЕДН/НД — електродвигун (ЕДН) і нагнітач (НТ) високого тиску у системі VDC;

г) ЕДТ/ГК — електродвигун (ЕДТ) і гідро-клапани (ГК) системи ABS;

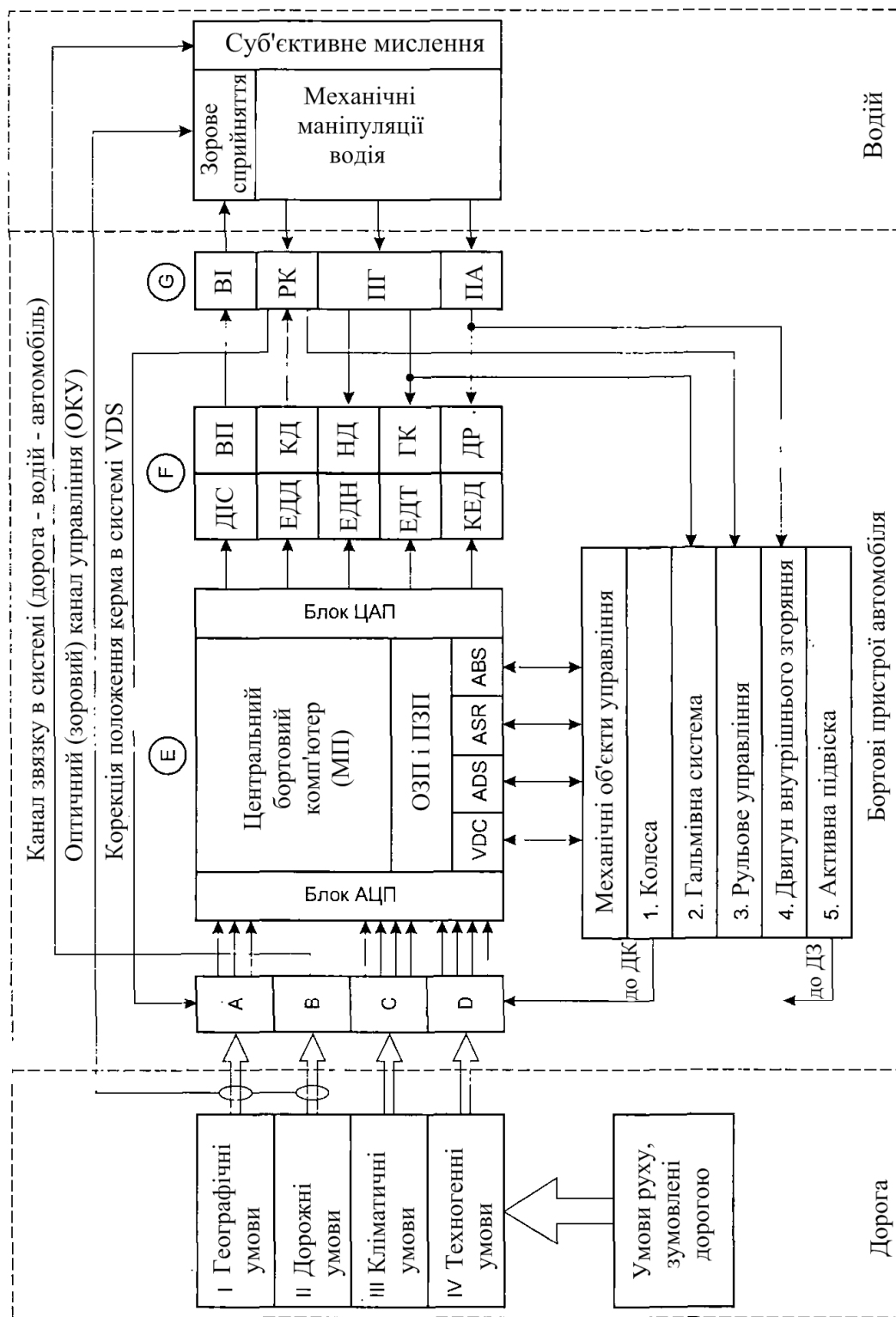
д) КЕД/ДР — кроковий електродвигун (ШЕД) і дросельна заслінка (ДЗ) системи ASR.

G. Блок водійських органів управління: ВІ — візуальні індикатори (стрілочні, електронні, дисплей тощо.); РК — рульове кермо; ПГ — педаль гальма; ПА — педаль акселератора (газу).

Усе це неелектричні прояви умов руху автомобіля, які з допомогою вхідних неелектричних перетворювачів переробляються в неелектричні інформаційні сигнали:

швидкість руху — в кругову частоту обертання коліс; кути вертикального нахилу — в механічні переміщення інерційних елементів в гіроскопічному пристрої; кут повороту керма — в рух (поворот) світломодуючого (кодуючого) диска; тиск у шинах — в прогин пружної мембрани тощо.

Отримані в такий спосіб неелектричні інформаційні сигнали у вигляді вхідних датчиків (рисунок 1.1, поз. А, С, D) перетворюються на електричні сигнали: поворот кодуючого диска на рулі — у цифровий електричний код; кругова частота обертання коліс — в послідовність електричних імпульсів з мінливою частотою прямування; переміщення інерційних елементів гіроскопа, пружиною мембрани датчика тиску — в аналогові електричні сигнали, які далі з допомогою аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) переробляються в цифрові електричні сигнали, придатні подачі на вхід мікропроцесора МП.



**Рисунок 1.1 – Система VDC-як складова системи «дорога-водій-автомобіль»**

Мікропроцесор — це центральний орган управління (мозок) автотронної системи. Його головна функція залежить в перетворенні електричних інформаційних сигналів про умову руху автомобіля, отримані від вхідної периферії, в електричні сигнали управління, які несуть інформацію про інтенсивність і послідовність неелектричних впливів на неелектричні органи керування. Така інформація формується в мікропроцесорі у виді кодових послідовностей електричних імпульсів, які для безпосереднього управління неелектричними органами непридатні.

Для узгодження енергетичних рівнів без порушення інформаційного змісту на

виході мікропроцесора реалізується зворотне перетворення інформаційних сигналів з цифрового в аналогову форму. Цю функцію виконують цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), які одночасно є підсилювачами потужності аналогових електричних сигналів.

Щоб виконувати керований неелектричний вплив на неелектричні керівні органи, за ЦАПами встановлюються по закінченню перетворювачі електричних сигналів в механічні чи будь-які інші неелектричного впливу. Кінцеві перетворювачі (блок F на рисунку 1.1) є вихідними виконавчими пристроєм авто-тронної системи, однак не є її інформаційним закінченням. На відміну від електронної системи авто-тронна система включає до свого складу і неелектричні об'єкти управління, що є кінцевим споживачами інформації. Що стосується аналізованої системи управління стійкістю руху автомобіля, кінцевими споживачами інформації являються: система подачі палива на двигун **4**, гальмівна система **2** автомобіля і інформаційна система водія з візуальними індикаторами (ВІ) і оптичним (зоровим) каналом управління (ОКУ). Ці три системи являють собою виконавчу периферію авто-тронної системи, яка (периферія) під автоматичним управлінням мікропроцесора, при вкрай обмеженій (у вигляді корекції становища керма) участі водія, забезпечує найоптимальніший режим руху автомобіля у непростих дорожніх умов або в аварійній ситуації (докладніше система VDC описано на главі 8).

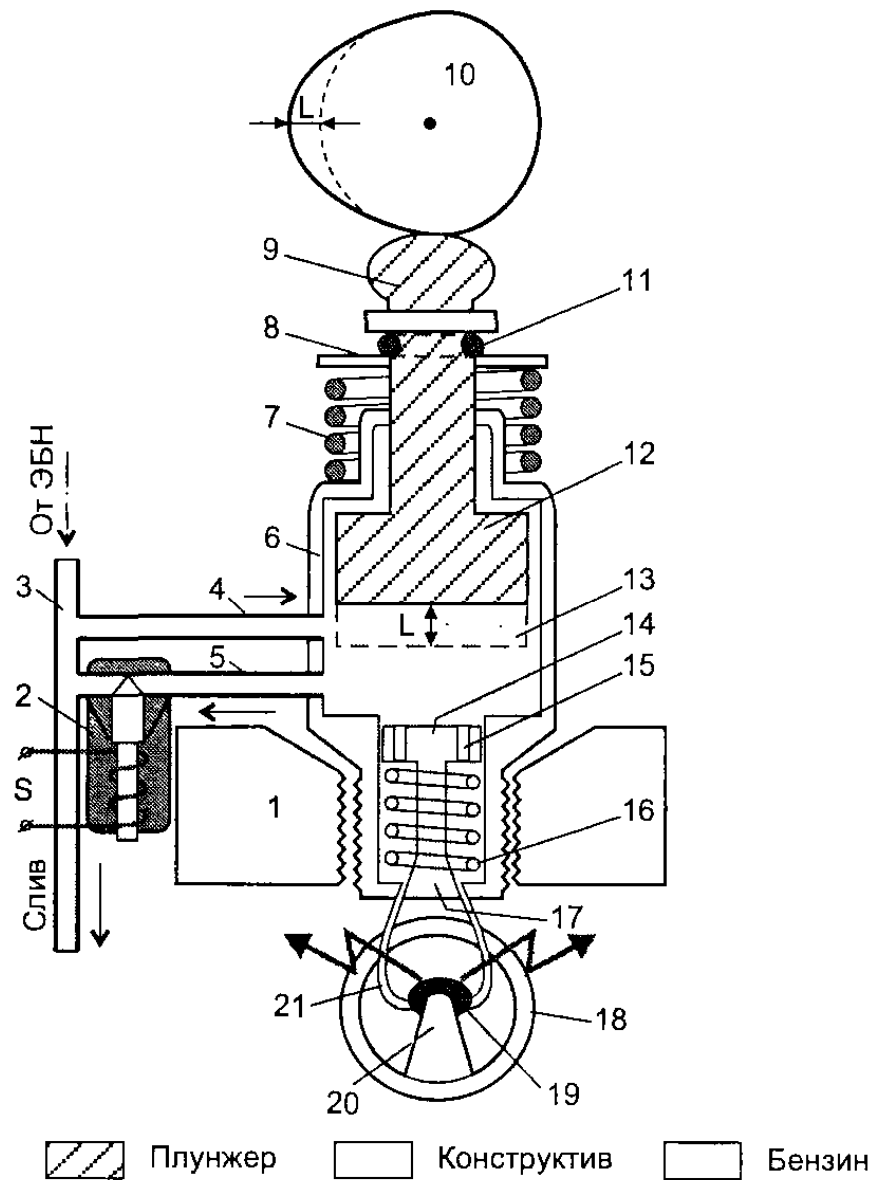
#### **1.4 Автотронне керування насос-форсунками системи впорскування палива**

► Інший приклад — авто-тронне управління насос-форсунками, які використовуються у системах впорскування бензину під великим тиском у камеру згоряння для реалізації внутрішнього сумішоутворення. Починаючи з 2000 року такі форсунки стали встановлюватися в двигунах експериментальних легкових авто у фірми TOYOTA (Японія).

Насос-форсунка (рисунок 1.2), будучи гідромеханічним пристроєм, наводиться на дію від кулачка **10** розподільного валу ДВЗ, а управляється від електронної системи S авто-тронного управління впорскуванням (ЕСАУ-В) у вигляді швидкодіючого електрогідравлічного клапана **2**.

Насос-форсунка є яскравим прикладом компонента який входить в склад авто-тронної системи. Вхідними неелектричними сигналами тут служать: частота обертання і кутове становище розподільного валу; абсолютний тиск (розрідження) у впускному колекторі; температура двигуна і положення водійської педалі газу. Ці неелектричні величини за допомогою відповідних датчиків і АЦП перетворюються на число-імпульсну послідовність електричних сигналів і подаються на вхід мікропроцесора ЕСАУ-В. У мікропроцесорі шляхом математичного опрацювання вхідних сигналів відбувається формування послідовності управляючих імпульсів для електрогідравлічного клапана насос-форсунки.

У даному випадку ЦАП на виході мікропроцесора не застосовується, але управляючі імпульси підсилюються в підсилювачі потужності і подаються на обмотку електромагніта гідроклапана **2**. Гідроклапан представляє вихідний виконавчий пристрій автотронної системи. Проте об'єктом управління являється не гідроклапан, а точно відміряна щодо маси і розподілений за часом струмінь **21** розпиленого бензину, яка надходить в об'єм циліндра через дисковий запірний клапан **17** форсунки. Управління струменем дозволяє отримати так званий пошаровий вприск бензину, суть якого полягає у суворо



**Рисунок 1.2 - Насос-форсунка системи впорскування бензину**

- 1 — фрагмент блока циліндрів у зоні камери згоряння;
- 2 — магнітоелектричний гідроклапан в зливному каналі;
- 3 — головна бензомагістраль;
- 4 — подає бензомагістраль;
- 5 — зливальний канал (зворотна бензомагістраль);
- 6 — корпус насос-форсунки;
- 7 — поворотна пружина плунжера;
- 8 — опорна тарілочка пружини плунжера;
- 9 — штовхач плунжера;
- 10 — кулачок розподільчого вала;
- 11 — запірне кільце опорною тарілочкою;
- 12 — поршень плунжерного насоса;
- 13 — робоча порожнину насос-форсунки;
- 14 — гідромеханічна форсунка закритого типу високого тиску (100—150 бар);
- 15 — перепускний канал з порожнини плунжерного насоса в порожнину форсунки;



- 16 — поворотна пружина запірною клапана форсунки;
- 17 — дисковий запірний клапан форсунки;
- 18 — свіча запалювання (СЗ);
- 19 — центральний електрод СЗ;
- 20 — бічний електрод;
- 21 — конус (струмінь) розпиленого бензину;
- I- — хід плунжера

дозованій подачі палива окремими порціями і у суворо визначений час. За один цикл впорскування бензин подається не суцільним однорідним струменем, як у звичайній форсунці з електронним управлінням, а кількома частинами, кожна з яких утворює «свій» коефіцієнт надлишку повітря  $\beta$ . У обсязі циліндра утворюється пошарова структура ПП-суміші з різною концентрацією компонентів. Перевага прямого пошарового впорскування бензину у тому, що у перший момент запалення у зоні центрального електрода **19** свічки запалювання **18** має місце стехіометрична (нормальна) ПП-суміш з коефіцієнтом  $\beta=1$ , яка легко займається. Далі процес горіння бензину зі значним надлишком кисню ( $\beta=2,0$ ) підтримується з допомогою «відкритого вогню», що утворився перший момент запалення. Такий процес згорання ПП-суміші дозволяє отримати значну економію бензину (до 35%), понизити викид у повітря чадного газу СО і вуглеводнів СН, і навіть збільшити питому потужність двигуна.

### 1.5 Перспективи розвитку автомобільних бортових пристроїв

► Ведучи мову про тенденції та перспективи розвитку автомобільних бортових пристроїв, треба сказати, що найінтенсивніше вдосконалюються вузли, агрегати і схеми класичного електроустаткування. Вже скоро в борт-систему автомобіля буде впроваджено друга робоча напруга 42 вольт. Це зв'язано з необхідністю підвищення напруги електроживлення для новітніх енергоємних споживачів, як-от силові електромагнітні гідроклапани, електромагнітні соленоїди силових виконавчих пристроїв, потужні електродвигуни, силові електронні комутатори, мультиплексна електропроводка тощо. Зрозуміло, що за підвищення напруги електроживлення відповідно зменшуються струми в ланцюгах споживачів, що зумовлює надійнішу й економічнішу роботу. Але відразу переводити всі електроспоживачі на нову напругу, як це було зроблено щодо переходу з 6 на 12 вольт, сьогодні нераціонально. Причина цьому — випуск 12-вольтових споживачів величезними серіями, технологічна оснащеність виробництв та, головне, всі експлуатовані нині автомобілі обладнані 12-вольтовими споживачами (електролампи, електродвигуни, електронне і мікрокомп'ютерне оснащення, аудіо-, радіо-, відеоапаратура, бортова самодіагностика тощо.).

Єдиної стратегії переходу борт-системи автомобіля на більш високу напругу ми покищо не маємо. Вважають, що деякий час на автомобілі будуть дві напруги: 12 вольт — для класичного електроустаткування, і 42 вольт — для новітніх потужних споживачів. Такий підхід широко використовується на багатотонних вантажних автомобілях, де потужні електро споживачі 24-вольтові, а освітлення — від 12 вольт. Ще яскравіший приклад — електромобілі. Тут головна тягова акумуляторна батарея, управляючий контролер і тяговий електродвигун розраховані на напругу 120...380 В і з'єднані між собою окремими ланцюгами. У цьому борт-система залишається 12-вольтовою.

## 1.6 Удосконалення електропостачання автомобільних електронних систем

З прикладів ясно, що функціональне розмаїття бортових електричних пристроїв неминуче призводить до потреби використання автомобілем кількох первинних електричних джерел з різними робочими напругами. При цьому цілком можливо, що буде вживатись і змінна синусоїдна напруга для спеціальних споживачів.

► Під нові напруги насамперед будуть модернізовані бортові електромашини. Вже наші дні значно видозмінений електростартер. У ньому не застосовується послідовне збудження, яке замінено збудженням від постійних магнітів. Жорстка механічна характеристика електродвигуна такого стартера узгоджується з пусковим моментом ДВЗ безпосередньо планетарним редуктором (редуктора Джеймса). Давно немає колекторних генераторів постійного струму, їх замінили багатофазні синусоїдальні генератори з напівпровідниковими випрямлячами і електронними регуляторами напруги. Але такі генератори можуть істотно видозмінитися у разі появи другої робочої напруги або якщо потреба у високовольтній перемінній напрузі стане реальною.

Ведуться також розробки але створенню універсальної електричної машини, з так званого «стартер-генератора», що зможе виконувати дві функції: запуск ДВЗ і подачу електроенергії у борт-систему після запуску ДВЗ.

## 1.7 Сучасна мікропроцесорна система запалювання з низькорівневим багатоканальним розподілом енергії по свічках.

► Сучасна мікропроцесорна система запалювання з низько-рівневим багатоканальним розподілом енергії по свічках [2] є найбільш досконалим рішенням проблеми примусового електроіскрового запалення ПП-суміші в циліндрах поршневого ДВЗ.

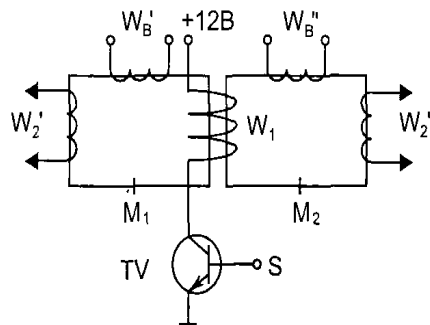


Рисунок 1.3 - Магнітний модулятор

Але це межа досягнень. Вже випробувані лазерні свічки запалювання, які працюють безпосередньо від електронної схеми управління без проміжного енергонакопичувача. Це дозволить значно підвищити надійність і ККД системи запалювання, а також позбавити його від високочастотних електроіскрових перешкод на інші вузли і блоки бортовий електронної автоматики. Електронною схемою управління може бути магнітний модулятор зжимання, працюючий на феромагнітних осердях насичення. Схема такого модулятора показана на рисунку 1.3, основним елементом в системі запалювання якої є високовольтний трансформатор з насиченими сердечниками.

Якщо магнітопроводу трансформатора вводити на режим насичення, його

коефіцієнт трансформації різко падає і енергія з первинної обмотки у вторинну не трансформується.

Вихідний трансформатор має дві ізольованих друг від друга магнітопроводи —  $M_1$  і  $M_2$ , охоплених загальною первинною обмоткою  $W_1$ . Кожен магнітопровід оснащений окремою обмоткою управління ( $W_{B'}$  і  $W_{B''}$ ) і окремою двох-вивідною вторинною обмоткою ( $W_2'$  і  $W_2''$ )

Коли по керуючій обмотці  $W_{B'}$  протікає струм, достатній для насичення сердечника  $M_1$ , а обмотка  $W_{B''}$  обезструмлена, то висока напруга наводиться лише у вторинну обмотку  $W_2''$ . Якщо знеструмити управляючу обмотку  $W_{B'}$  і пропустити струм насичення по обмотці  $W_{B''}$ , то насититься сердечник  $M_2$  і висока напруга буде трансформована лише у обмотку  $W_2'$ .

Система запалювання з трансформатором насичення має високу надійність, малі габарити і вагу.

## **Тема 2 Датчики новітніх автомобільних електронних систем**

2.1 Передумови створення датчиків АЕС.

2.2 Датчики тиску.

2.2.1 Датчики барометричного тиску і абсолютного тиску у впускному колекторі.

2.2.2 Датчики тиску в рідинних середовищах.

2.2.3 Нові застосування датчиків тиску.

2.2.4 Нові конструкції датчиків тиску.

2.3 Датчики температури і вологості.

2.3.1 Вузли автомобіля, в яких проводиться вимірювання температури.

2.3.2 Термістори.

2.3.3 Термопари.

2.3.4 Інші типи датчиків температури.

2.3.5 Датчики вологості.

2.4 Датчики витрати рідини і газів.

2.4.1 Загальні відомості про датчики витрати рідини і газів.

2.4.2 Витратоміри і масшметри.

2.4.3 Датчик Кармана.

2.5 Датчики складу вихлопних газів.

2.5.1 Цирконієві й титанові датчики концентрації кисню у вихлопних газах.

2.5.2 Датчики кисню для двигунів, що працюють на збіднених сумішах.

2.5.3 Вплив різних факторів на характеристики датчиків кисню.

2.5.4 Газоаналізатори.

2.6 Датчики кутових і лінійних переміщень і положень.

2.6.1 Загальні відомості про датчики кутових і лінійних переміщень і положень.

2.6.2 Контактні датчики.

2.6.3 Безконтактні датчики.

2.7 Радарні та інші спеціальні датчики.

2.7.1 Радарні і ультразвукові датчики.

2.7.2 Датчики прискорення (акселерометри).

2.7.3 Датчик детонації.

2.7.4 Датчик змісту метанолу в паливі.

2.7.5 Датчики стану електричних ланцюгів.

2.7.6 Інтеграція датчиків.

## 2.1 Передумови створення датчиків АЕС

Сучасні електронні системи автоматичного управління (ЕСАУ) різними технічними об'єктами, зокрема і автомобільними бортовими пристроями, мають подібну структуру.

Різні датчики ЕСАУ перетворюють інформацію про значення контрольованих неелектричних параметрів в електричний сигнал — напруга, струм, частоту, фазу тощо. Ці сигнали перетворюються на цифровий код і поступають в мікроконтролер. Мікроконтролер па підставі значень цих сигналів і згідно з закладеним у нього програмним забезпеченням приймає рішення, управляє через виконавчі механізми (реле, соленоїди, електродвигуни) об'єктом.

Можливість вдосконалення автомобільних електронних систем великою мірою залежить від наявності надійних, точних і недорогих датчиків.

У 1960-ті роки автомобілі було обладнано датчиками тиску оливи, рівня палива, температури, охолоджувальної рідини. Їх виходи були підключені до стрілочних або лампових індикаторів на щитку приладів.

У 1970-х роках автомобільні компанії влилися в боротьбу за зменшення кількості токсичних викидів з глушника автомобіля — знадобилися б додаткові датчики для керування силовою установкою, які необхідні для забезпечення нормальної роботи електронного запалювання, системи впорскування палива, трьохкомпонентного нейтралізатора, для точного завдання співвідношення повітря/паливо у робочій суміші, для мінімізації токсичності вихлопних газів.

У 1980-х роках почали приділяти більше уваги безпеці водія і пасажирів — з'явилися анти блокувальна система гальмування (ABS) і повітряні мішки безпеки.

У силовому агрегаті (в ДВЗ) датчики використовуються для виміру температури і тиску більшості мінливих середовищ (температура всмоктуваного повітря, абсолютний тиск у впускному колекторі, тиск оливи, температура охолоджувальної рідини, тиск палива в системі впорскування).

Майже до всіх рухомих частин автомобіля підключені датчики швидкості або положення (швидкість автомобіля, становище дросельної заслінки, становище колінчатого валу, становище розподільного валу, положення і швидкість обертання валу в коробці перемикачів передач, становище клапана рециркуляції вихлопних газів).

Інші датчики визначають рівень детонації, навантаження двигуна, пропуски займання, зміст кисню в вихлопних газах.

В системі управління кліматом (в клімат-контролі) використовуються різні датчики в кондиціонері для визначення тиску і температури холодагента, температури повітря в салоні і поза бортом.

Є датчики, які визначають становище сидінь.

Після появи антиблокувальної системи гальмування і активної підвіски знадобилися датчики визначення швидкості обертання коліс, висоти кузова стосовно шасі, тиску в шинах.

Датчики удару й акселерометри потрібні для правильного функціонування фронтальних і бічних повітряних мішків безпеки. Для переднього пасажирського

сидіння з допомогою датчиків визначають наявність пасажирів, його вагу. Ця інформація використовується для оптимального надуву мішка безпеки на передньому сидінні. Інші датчики йдуть для бічних і стельових повітряних мішків безпеки, і навіть спеціальних повітряних мішків для захисту шиї і голови.

На сучасних автомобілях антиблокуючі системи гальмування замінюються складнішими і ефективними системами управління стабільності руху автомобіля. Виникає необхідність у нових датчиках. Розробляються і вже є датчики швидкості обертання автомобіля навколо вертикальної осі, датчики для попередження зіткнення (наприклад радарні), датчики для визначення близькості інших автомобілів, датчики становища рульового колеса, бічного прискорення, швидкості обертання кожного колеса, крутного моменту на валу двигуна тощо. Управління гальмівною системою автомобіля стає частиною більш загальної й ефективної системи електронного управління курсовою сталістю і стабільністю руху.

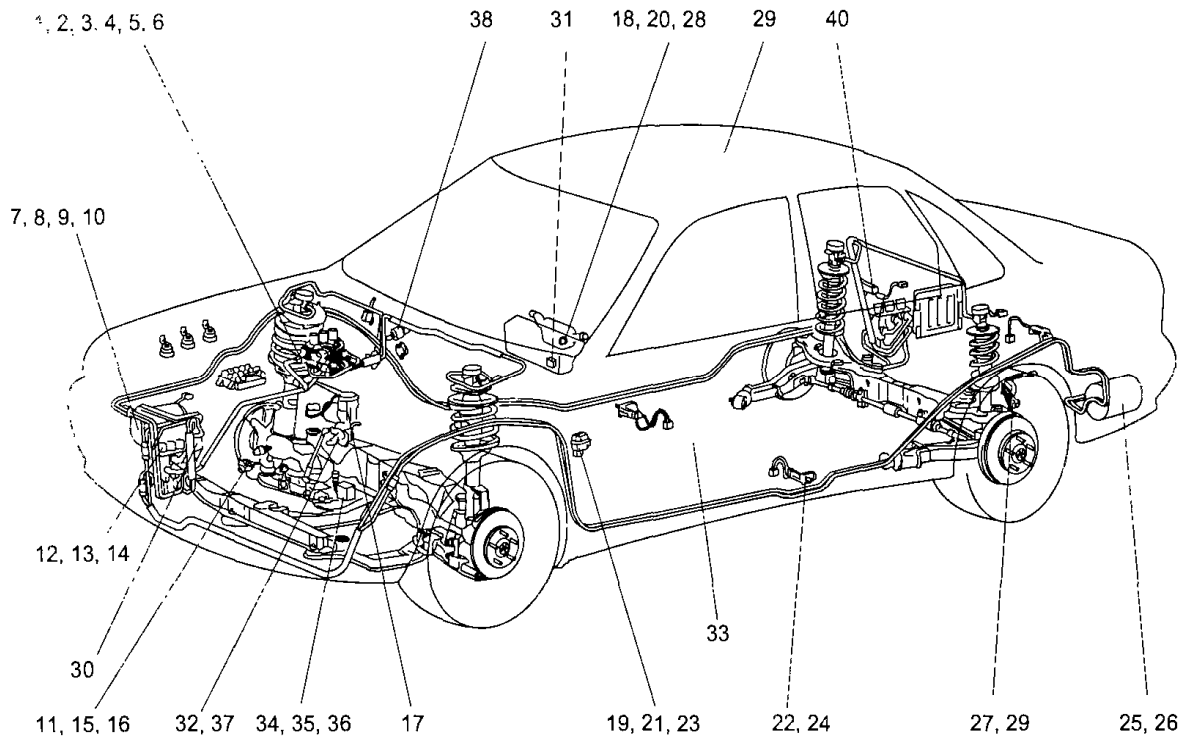
З сказаного ясно, що сьогодні датчики встановлюються практично у всіх системах автомобіля.

На рисунку (2.1, а) показано найбільш раціональне розташування різних датчиків на автомобілі.

► Датчики автомобільних електронних систем можна класифікувати за трьома ознаками: принципу дії, типу енергетичного перетворення і основному призначенню.

По принципу дії датчики поділяють на електроконтактні, потенціометричні, оптичні, оптоелектронні, електромагнітні, індуктивні, магніторезистивні, магнітострикційні, фото- і п'єзоелектричні, а також датчики на ефектах Холла, Доплера, Кармана, Зеебека, Вигонда.

Залежно від енергетичного перетворення (рисунки 2.1, б) датчики (Д) бувають активними (позиція 2 на рисунку 2.1, б), у яких вихідний електричний сигнал (ЕС) виникає як наслідок вхідного неелектричного впливу (НВ) без докладання сторонньої електричної енергії з допомогою внутрішнього фізичного ефекту (наприклад фотоефекту), і пасивними (позиція 3 на рисунку 2.1, б), у яких електричний сигнал (ЕС) є наслідком модуляції зовнішньої електричної енергії (ЗЕЕ) управляючим неелектричним впливом (НВ). Наприклад, потенціометричний датчик, показаний на рисунку 2.1 б, (позиція 5), є пасивним перетворювачем кута повороту осі потенціометра (чутливого елемента ЧЕ) в електричний сигнал. Електричний сигнал (ЕС) з'явиться на виході потенціометра тільки тоді, коли у резистивну доріжку (Д) надійде зовнішня напруга (ЗН). Слід зазначити, що всередині датчика, у вигляді чутливого елемента (ЧЕ), завжди має місце внутрішнє перетворення зовнішнього неелектричного впливу (НВ) у проміжний неелектричний сигнал (НС), що показано на рисунку 2.1, б (позиція 1). Що стосується датчика кута повороту, кутове становище осі потенціометра є неелектричним сигналом (НС) на виході чутливого елемента (ЧЕ). Цьому неелектричному сигналу (НС) відповідає електричний сигнал (ЕС) датчика, якщо подане на резистивну доріжку (Д) зовнішнє напруження (ЗН) постійно (рисунки 2.1 б, позиція 4). Лінійна характеристика перетворення (рисунки 2.1 б, позиція 6) може бути легко змінена на квадратичну, ступінчасту та будь-яку нелінійну із заданою крутизною, яка досягається добором конструктивних розмірів (довжини, ширини, товщини) резистивної доріжки.



**Рисунок 2.1 - Розташування датчиків на автомобілі**

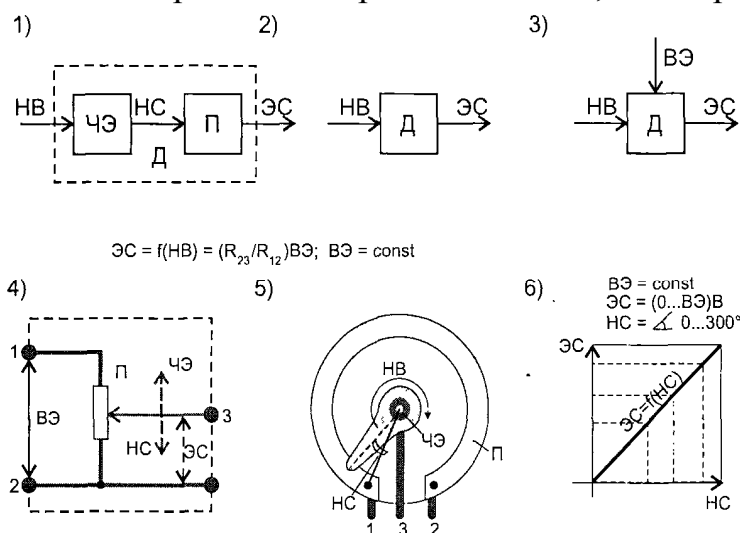
- 1 — датчик конфігурації впускного колектора з керованою геометрією,
- 2 — датчик тахометра,
- 3 — датчик становища розподільного валу,
- 4 — датчик навантаження двигуна,
- 5 — датчик становища колінчастого валу,
- 6 — датчик крутного моменту двигуна,
- 7 — датчик кількості оливи,
- 8 — датчик температури охолоджувальної рідини,
- 9 — датчик швидкості автомобіля,
- 10 — датчик тиску оливи,
- 11 — датчик рівня охолоджувальної рідини,
- 12 — радарний датчик системи гальмування,
- 13 — датчик атмосферного тиску,
- 14 — радарний датчик системи запобігання зіткнень,
- 15 — датчик швидкості обертання ведучого валу коробки передач,
- 16 — датчик обраної передачі у коробці передач,
- 17 — датчик тиску палива на рампі форсунок,
- 18 — датчик швидкості обертання керма,
- 19 — датчик положення педалі,
- 20 — датчик швидкості обертання автомобіля щодо вертикальної осі,
- 21 — датчик протикрадіжної системи,
- 22 — датчик положення сидіння,
- 23 — датчик прискорення при фронтальному зіткненні,
- 24 — датчик прискорення при бічному зіткненні,
- 25 — датчик тиску палива в баку,
- 26 — датчик рівня палива в баку,

- 27 — датчик висоти кузова стосовно шасі,
- 28 — датчик кута повороту керма,
- 29 — датчик дощу чи туману,
- 30 — датчик температури забортного повітря,
- 31 — датчик ваги пасажира,
- 32 — датчик кисню,
- 33 — датчик наявності пасажира в сидінні,
- 34 — датчик становища дросельної заслінки,
- 35 — датчик пропусків займання,
- 36 — датчик становища клапана рециркуляції вихлопних газів,
- 37 — датчик абсолютного тиску в впускному колекторі,
- 38 — датчик азимута,
- 39 — датчик швидкості обертання коліс,
- 40 — датчик тиску в шинах.

По призначенню датчики класифікуються по типу керуючого неелектричного впливу: датчики крайових положень, датчики кутових і лінійних переміщень, датчики частоти обертання і числа оборотів, датчики тиску, датчики температури, датчики вологості, датчики концентрації кисню, датчик радіації тощо.

► Датчики підключаються до ЕБК або засобам індикації для передачі інформації про параметри контрольованого середовища. В автомобільних системах ціна і надійність мають велике значення і при інших рівних умовах завжди вибирають датчик з найменшим числом з'єднувачів. Якщо до датчика підключити 5-6 проводів, доцільно розмістити мікросхему обробки сигналу безпосередньо на датчику і передавати дані контролеру через послідовний інтерфейс.

При підключенні датчиків к ЕБУ слід мати на увазі, що шасі(маса) автомобіля не може бути використана в якості вимірювальної землі. Між точкою підключення ЕБУ до маси і датчиком напруга може падати до 1 В за рахунок струмів силових по масі, що недопустимо як при штатній роботі датчика, так і при його діагностиці.



**Рисунок 2.2 - Моделі датчиків**

## 2.2 Датчики тиску

На сучасних автомобілях використовується велика кількість датчиків тиску (від

тиску оливи до диференціального тиску повітря з різних боків кузова), і їх кількість постійно збільшується.

Вимірювання тиску у різних рідинних і газоподібних мінливих середовищах виробляється на автомобілі у процесі розробки, виробництва та експлуатації. Результати цих вимірів необхідні для проведення експериментальних досліджень, забезпечення нормальної безпечної експлуатації автомобіля, видачі інформації водієві, для діагностики.

Залежно від вимірюваного параметра можна застосовувати різні одиниці виміру тиску. У системі СІ це Паскаль (Па) чи кілопаскаль (кПа). Незалежно від методу виміру в технічних системах визначається надлишковий, абсолютний чи диференціальний тиск.

Таблиця 2.1-Співвідношення між різними одиницями вимірювання тиску

	[psi]	[Мм рт. ст]	[кПа]
[psi]	1,0	51,715	6,8947
[Мм рт. ст]	0,0193	1,0	0,133332
[кПа]	0,1450	7,5006	1,0

Таблиця 2.2

Система	Параметр	Діапазон
Керування двигуном	Абсолютний тиск в впускному колекторі (кПа)	100
	Абсолютний тиск в впускному колекторі двигуна наддувом (кПа)	200
	Барометричний тиск (кПа)	100
	Тиск в системі рециркуляції вихлопних газів (кПа)	51,7
	Тиск палива (кПа)	450
Коробка перемикачів передач	Тиск оливи (кПа)	550
Антиблокувальна система гальм	Тиск оливи (кПа)	3447
Повітряні подушки безпеки	Тиск газу (кПа)	51,7
Підвіска	Тиск в пневматичному амортизаторі (мПа)	1,0

У таблиці 2.1 наведено співвідношення між різними одиницями вимірювання тиску, що використовуються при маркуванні датчиків в автомобільній промисловості. Тут psi — це фунт на квадратний дюйм, одиниця, яка використовується в англійських країнах.

Сучасний серійний автомобіль має кілька датчиків для вимірювання тиску, наприклад, розрідження у впускному колекторі, тиск оливи у двигуні тощо.

У таблиці 2.2 наведено деякі вузли автомобіля, де є необхідність вимірювань тиску



для одержання управляючих сигналів для ЕСАУ.

Водію зазвичай видається інформація з наступних датчиків: тиску оливи у двигуні, рівня палива, рівня оливи, тиску охолоджувальної рідини, рівня охолоджувальної рідини, рівня рідини в змивачі, рівня рідини в коробці перемикачів передач, тиску в шинах.

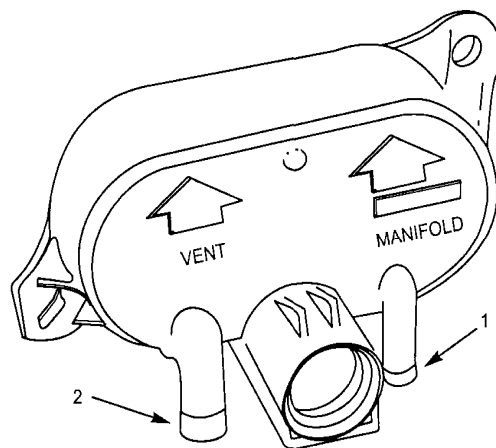
### 2.2.1 Датчики барометричного тиску й абсолютного тиску у впускному колекторі

Такі датчики використовуються у системах управління двигуном при визначенні маси палива по об'ємній витраті повітря. Такий спосіб дешевше у реалізації по порівнянню з безпосереднім виміром масової витрати повітря, але менш точний. Можуть застосовуватися лише для діагностики в бортових діагностичних системах другого покоління OBD-II.

Датчики барометричного (атмосферного) тиску потрібні для адаптації ЕБУ до перепадів висоти із змінами погоди. Вони застосовуються разом з витратоміром повітря за по об'єму. Часто це один і той самий датчик, тоді вимір атмосферного тиску виробляється, коли запалювання включено, а двигун ще не працює. При їзді в горах інколи доводиться спеціально зупинятися і перезапускати двигун для адаптації системи управління подачі палива до нової висоти.

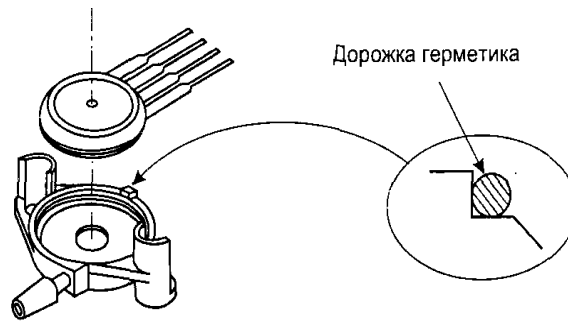
Випускаються і здвоєні датчики (рисунок 2.2). Вхід барометричного датчика залишається відкритим і на нього подається атмосферний тиск, вхід датчика розрідження з'єднується вакуумним шлангом з впускним колектором.

Барометричні датчики і датчики тиску, застосовувані для виміру розрідження у впускному трубопроводі, може бути різних конструкцій. Датчики тиску дискретного дії є пристрій, де замикання і розмикання контактів відбуваються під впливом пружною мембрани, що відчуває яка вимірюється тиск.



**Рисунок 2.2 - Комбінований датчик барометричного тиску і розрідження (Porel):**

1 - вакуумний шланг, 2 - шланг у повітря



**Рисунок 2.3 - Сучасний інтегральний датчик тиску в захисному корпусі**

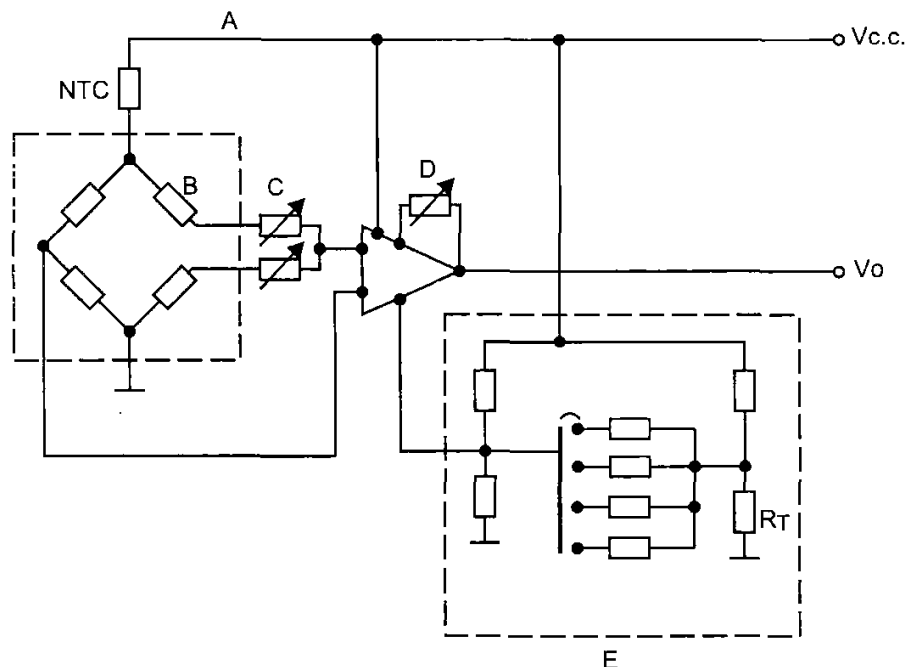
Барометричні датчики і датчики тиску, застосовувані для виміру розрідження у впускному трубопроводі, можуть бути різних конструкцій. Датчики тиску дискретної дії представляють собою пристрій, де замикання і розмикання контактів відбуваються під впливом пружної мембрани, що відчуває вимірювальний тиск.

Датчики тиску безперервної дії являють собою або потенціометр, повзунок якого пов'язаний з мембраною, або котушку індуктивності, в яку мембрана під впливом тиску всуває магнітний сердечник.

Сучасні інтегральні датчики (рисунок 2.3) підключаються до мікропроцесору ЕБУ через комутатор і аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Для 8-розрядного контролера крок дискретизації може становити до 4 мс, для 16-розрядного — до 2 мс.

Похибка датчика абсолютного тиску, у впускному колекторі зазвичай близько 1%.

Датчик барометричного тиску працює у діапазоні 60... 115 кПа, має похибку близько 1,5%. Скраю робочого діапазону, як по температурі, так і по тиску, похибка зростає.



**Рисунок 2.4 . Спрощена електрична схема датчика абсолютного (атмосферного) тиску з ланцюгами компенсації:**

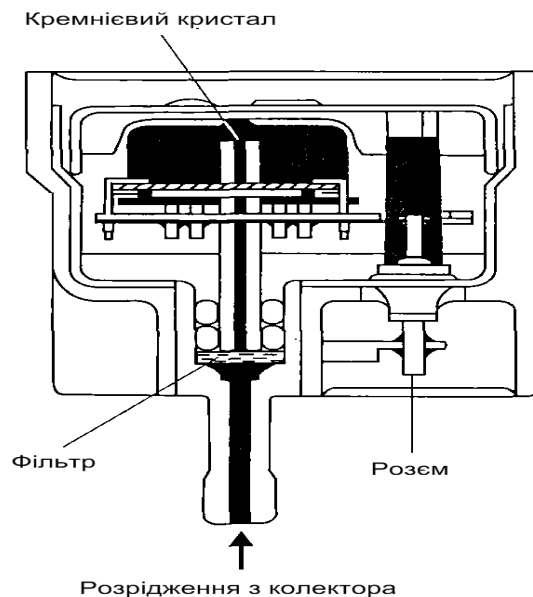
- А — ланцюг температурної компенсації,
- В — вимірювальний міст,
- С — підстроювання нуля,

D — коефіцієнт посилення,

E — термокомпенсація підсилювача

Датчики абсолютного тиску в двигунах з наддувом працюють у діапазоні тиску 20...200 кПа.

Розглянуті датчики мають, як правило, інтегральне виконання і кріпляться до стінок відповідних трубопроводів.



**Рисунок 2.5 - Датчик розрідження у впускному трубопроводі**

Широкого поширення набули напівпровідникові датчики з перетворювачем тиску на кремнієвому кристалі, у роботі якого використовується резистивний ефект (рисунок 2.4, 2.5). На поверхні кристала сформований місток опорів, струм через них змінюється під впливом деформації. Потім струм посилюється і вводиться температурна компенсація. Ці датчики відрізняються невеликими розмірами і високою надійністю. Інтегральні датчики дуже технологічні, їх вихідний сигнал уніфікований для підключення до аналогових чи імпульсних входів мікроконтролера.

У таблиці 2.3 наведено характеристики деяких датчиків абсолютного тиску.

**Таблиця 2.3 – Характеристики датчиків абсолютного тиску**

Розрідження, мм рт. стовпчика	GM, вольти	Ford, Гц	Розрідження, мм рт. стовпчика	GM, вольти	Ford, Гц
0	4,8	156...159	308,4	2,54	
25,7	4,52		334,1	2,36	
51,4	4,46		359,8	2,20	
77,1	4,26		385,5	2,00	114...117
102,8	4,06		411,2	1,80	
128,5	3,88	141...143	436,9	1,62	
154,2	3,66		462,6	1,42	108...109
179,9	3,50		488,3	1,20	
205,6	3,30		514	1,10	102...104
231,3	3,10		539,7	0,88	
257	2,94	127...130	565,4	0,66	
282,7	2,76				

### **2.2.2 Датчики тиску в рідинних середовищах**

На автомобілях вони традиційно призначені для перетворення переміщення пружної діафрагми у положення перемикача чи движка потенціометра. На такому принципі працюють всі датчики тиску оливи в ДВЗ колишніх конструкцій. Сьогодні електромеханічні датчики замінюються на кремнієві чи керамічні інтегральні. Безпосередньо в самому корпусі датчика розміщують уніфіцируючі перетворювачі. Є захист від електромагнітних перешкод, мікросхеми працюють за нормальної температури  $-40...+150^{\circ}\text{C}$  за умов вібрацій, при тиску до 500 psi (3440 кПа), в агресивних хімічних середовищах. Із міркувань вартості, корпуси датчиків виготовляються з пластмаси, стійкої до перелічених впливів.

Інформація про тиск оливи в коробці перемикачів передач використовується контролером, який управляє перемикачем швидкостей. Вимоги до датчику тут такі ж, як виміри тиску оливи у двигуні.

Тиск рідини у гальмівній гідравлічній системі значно вищий, ніж у коробці перемикачів передач. Наприклад, в ABS він може досягати 500 psi (3440 кПа). Тиск рідини у гальмівній системі автомобіля близько 150 psi (1030 кПа), він вимірюється датчиками на легкових автомобілях на етапі випробувань, і на важких вантажівках при експлуатації. На пасажирському автомобілі достатньо мати один датчик тиску для контролю за гідравлічною системою. Наприклад, у системі ABS-VI фірми GM тиск оцінюється по току електродвигунів насосів.

### **2.2.3 Нові застосування датчиків тиску**

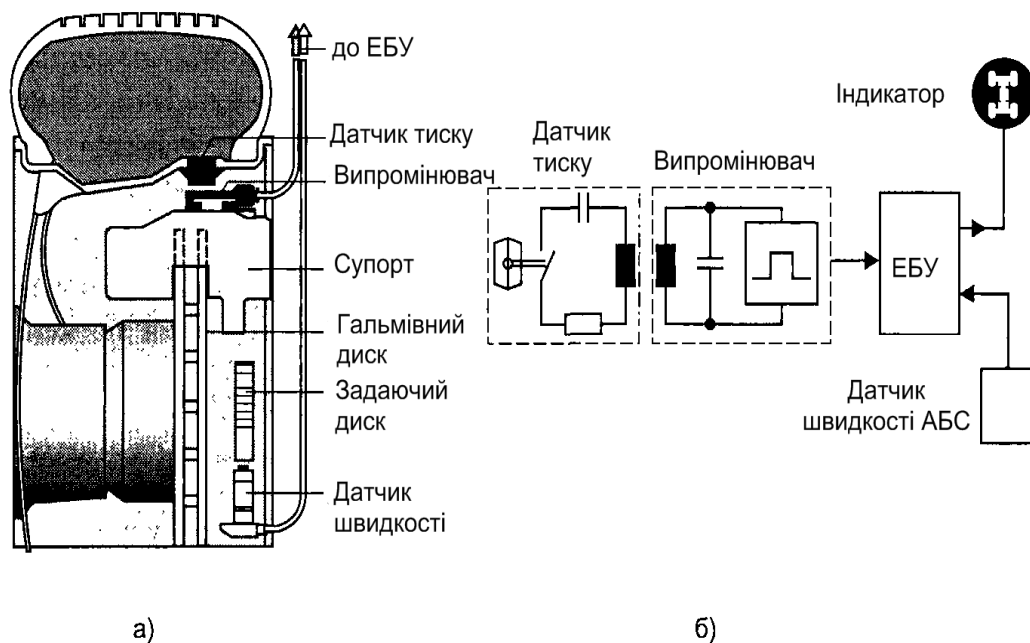
Описувані нижче датчики використовуються на стадії розробки нових автомобільних систем. Їх застосування на серійних автомобілях визначається ціною, запитами споживача, вимогами законодавства, необхідністю при діагностиці.

#### **Система контролю тиску повітря в шинах**

Система дає змогу стежити за тиском в шинах і при його зменшенні нижче заданого рівня на щитку приладів автомобіля загоряється ламповий чи світлодіодний індикатор.

Кожному колесу відповідає окремий індикатор. Знижений тиск у шинах підвищує їхню зношеність, а також розхід палива, це може призвести до втрати управління автомобілем, підвищений тиск — веде до вібрацій. На рисунку 2.6 показані блок-схеми системи контролю тиску в шинах і розміщення датчика в колесі автомобіля.

Система складається з трьох основних елементів. На ободі колеса встановлено мембранний мініатюрний датчик тиску (перший елемент), який замикає контакти при зниженні тиску в шині і тим самим створює вторинний ланцюг для високочастотного випромінювача (другий елемент), який розміщений на вузлі кріплення гальмівних колодок (на супорті). Датчик тиску постійно проходить в безпосередній близькості до випромінювача під час обертання колеса. Факт появи вторинного ланцюга для випромінювача фіксується ЕБУ. На приладовому щитку загоряється контрольний індикатор (третій елемент), який відповідає колесу зі зниженим тиском в шині. Система вимірює тиск з точністю до  $\pm 50$  мілібар. При нагріванні на  $10^{\circ}\text{C}$  тиск у шині підвищується на 1,5 psi (10,33 кПа). Підвищення температури повітря на шині не позначається на точності датчика тиску і не викликає хибних спрацювань системи.



**Рисунок 2.6 - Система контролю тиску в шинах:**

а — розміщення на колесі;  
б — блок схема

### **Тиск у системі рециркуляції вихлопних газів**

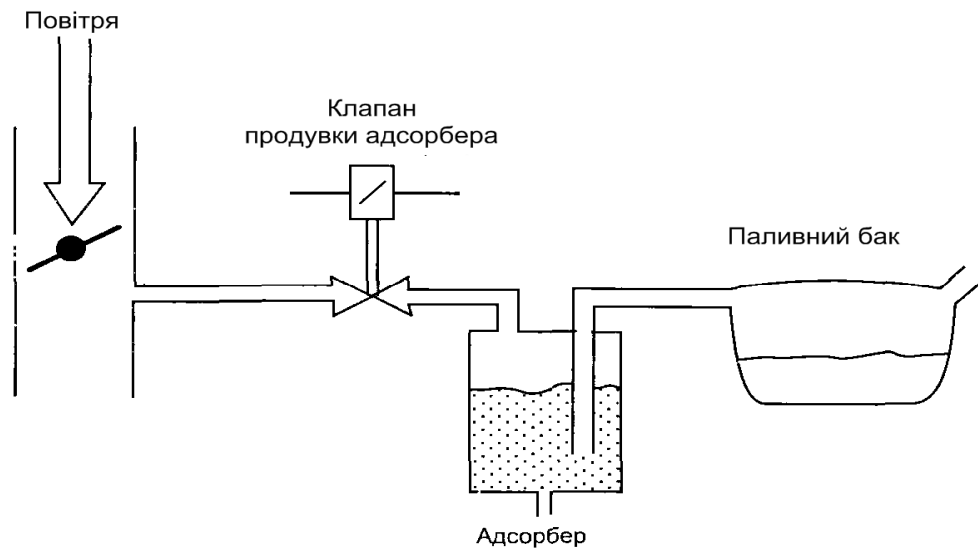
Система рециркуляції вихлопних газів (exhaust gas recirculation — EGR) призначена для зменшення змісту окислів азоту (NO<sub>2</sub>) в вихлопних газах. У присутність сонячного світла (NO<sub>2</sub>) вступає у реакцію з вуглеводнем, створюючи канцерогенний фотохімічний смог.

Вперше система EGR була застосована на автомобілях Chrysler в 1972 році. Окисли азоту виникають при температурі в камері згоряння вище 1370°C (2500°F). У певних режимах роботи двигуна, коли не виробляється відбір повної потужності, наприклад, при рівномірному русі по шосе, можна знизити температуру згоряння робочої суміші, тобто вдатися до зменшення потужності. Це досягається запровадженням невеликої кількості (6... 10%) вихлопних газів з випускного у впускний колектор. Оскільки вихлопні гази інертні, всі вони розбавляють ТВ-суміш, не змінюючи співвідношення повітря/пальне.

З 80-х років EGR є частиною електронної системи управління двигуном. Відповідно з вимогами до бортових діагностичних систем другого покоління OBD-II, систему управління двигуном постійно контролює справність клапана EGR, оскільки вихід його з експлуатації призводить до збільшення забруднення довілля вихлопними газами автомобіля.

### **Тиск парів палива в баці**

Автомобіль виробляє токсичні відходи при експлуатації, які попадають у довкілля: 60% у виді вихлопних газів під час руху, 20% у виді картерних газів і 20% з допомогою випарів палива. На рисунку 2.7 показана система уловлювання парів бензину з паливного бака, у якій для керування продувкою адсорбера використовується клапан з диференційним датчиком тиску між тиском в задросельній зоні впускного колектора і тиском парів палива в баку. робочий діапазон  $\pm 0,5$  psi (3,5 кПа).



**Рисунок 2.7 - Система уловлювання парів бензину**

### **Тиск бензину в рампі**

Регулятори тиску палива на рампі форсунок зазвичай роблять механічними і розміщують безпосередньо на рампі. У деяких моделях (наприклад, 5,9-літровий Dodge Magnum) паливний фільтр і регулятор тиску розміщені у баку, що виключає повернення нагрітого палива, зменшує його випаровування. Є системи подачі палива зі стабілізацією тиску в рампі без поворотної лінії, де паливний електронасос включається системою стабілізації періодично.

### **Кидки тиску**

Такі явища можуть бути у різних автомобільних системах. Наприклад, у системі подачі палива нормальний тиск менше 75 psi (520 кПа), а під час форсунок можуть бути стрибки до 300 psi (2070 кПа).

Під час зворотнього спалаху у впускному колекторі тиск піднімається до 75 psi (520 кПа).

Традиційні методи боротьби з кидками тиску: механічні стопори і фільтри, раціональна (ударостійка) конструкція датчиків. У середовищі сучасних інтегральних датчиків тиску використовуються кремнієві чутливі елементи. Їх модуль пружності 30 \*10(в 6 степені) psi (буде не гірший, ніж в сталі), а напруга плинності вища (180...300 psi). У міцному корпусі такі датчики зазвичай витримують кидки тиску.

## **2.2.4 Нові конструкції датчиків тиску**

### **Мембранні потенціометричні датчики**

Чутливим елементом є гнучка діафрагма чи мембрана. При зміні тиску, її переміщення перетворюється в становище движка потенціометра. Для потенціометричних датчиків характерні: підвищений рівень шуму, знос, статичне тертя утрудняє регулювання в діапазоні менш 0,5% від номіналу.

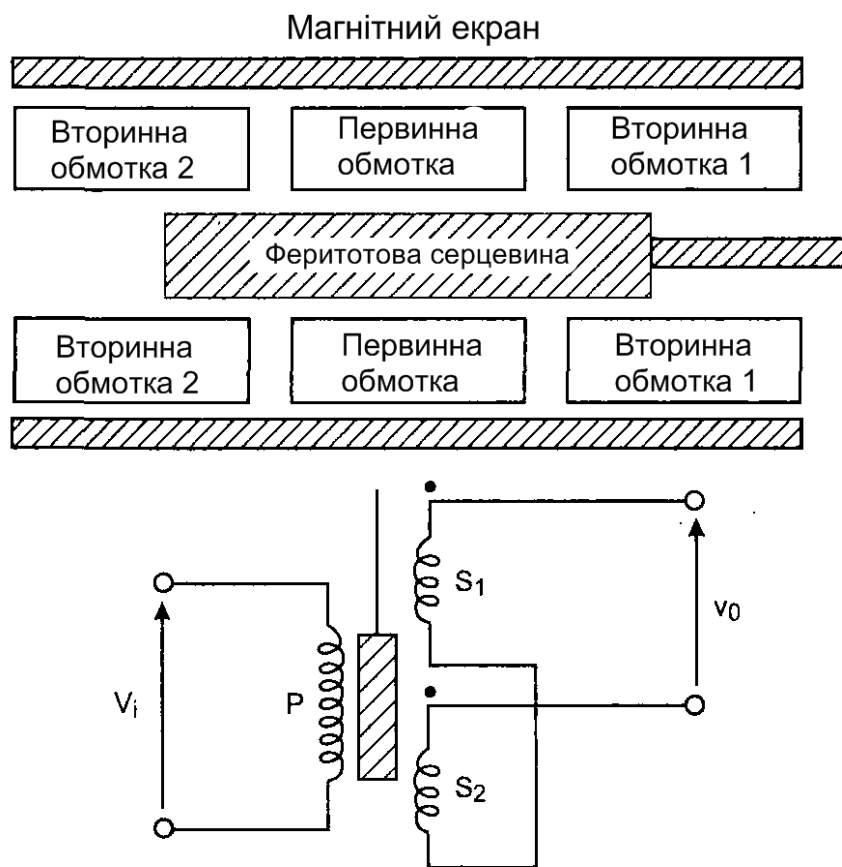
Резистивний датовий потенціометр зі ковзаючим контактом — одне з найбільш простих і ефективних перетворювачів переміщення. На його використання потрібно лише з'єднати ковзаючий контакт (движок) з рухомим об'єктом, а решту потенціометра закріпити нерухомо. Але движок потенціометра контактує з окремими витками на котушці, тому вихідний сигнал (напруга) перетворювача змінюється не безупинно, а

вигляді перемежованих малих і великих стрибків. Малий стрибок має місце, коли движок замикає два сусідні витка, великий стрибок відповідає моменту переходу движка до наступного витка і розмикання контакту з попереднім витком. Отже, дозвіл цього перетворювача залежить від діаметра намотаного дроту і може бути поліпшено шляхом застосування більш тонкого дроту. Для потенціометра з щільністю намотки 50 витків на міліметр, що близько до граничної межі, граничний дозвіл становить 20 мкм.

### Датчики тиску на основі лінійних диференціальних трансформаторів (ЛДТ)

У цих датчиках зміщення діафрагми перетворюється на переміщення сердечника ЛДТ. Такі датчики раніше на автомобілях не застосовувалися.

Лінійний диференціальний трансформатор — це електромеханічний пристрій, який виробляє вихідний електричний сигнал, пропорційний переміщенню феромагнітного сердечника. ЛДТ складається з первинної і двох вторинних обмоток, симетрично розташованих на циліндричному каркасі. Вільно рухомий всередині обмоток феромагнітний сердечник у вигляді стержня забезпечує зв'язок цих обмоток через магнітний потік. На рисунку 2.8 показана конструкція ЛДТ і приведена його принципова електрична схема.



**Рисунок 2.8 Лінійний диференціальний трансформатор та його принципова схема**

Корисну інформацію про переміщення несуть амплітуда і фаза вихідного сигналу. Доводиться використовувати фазочутливі демодулятори, вони є у інтегральному виконанні.

На автомобілях ЛДТ можна застосовувати в датчиках абсолютного тиску впускного колектора, де вони перетворюють переміщення мембрани в електричний сигнал.

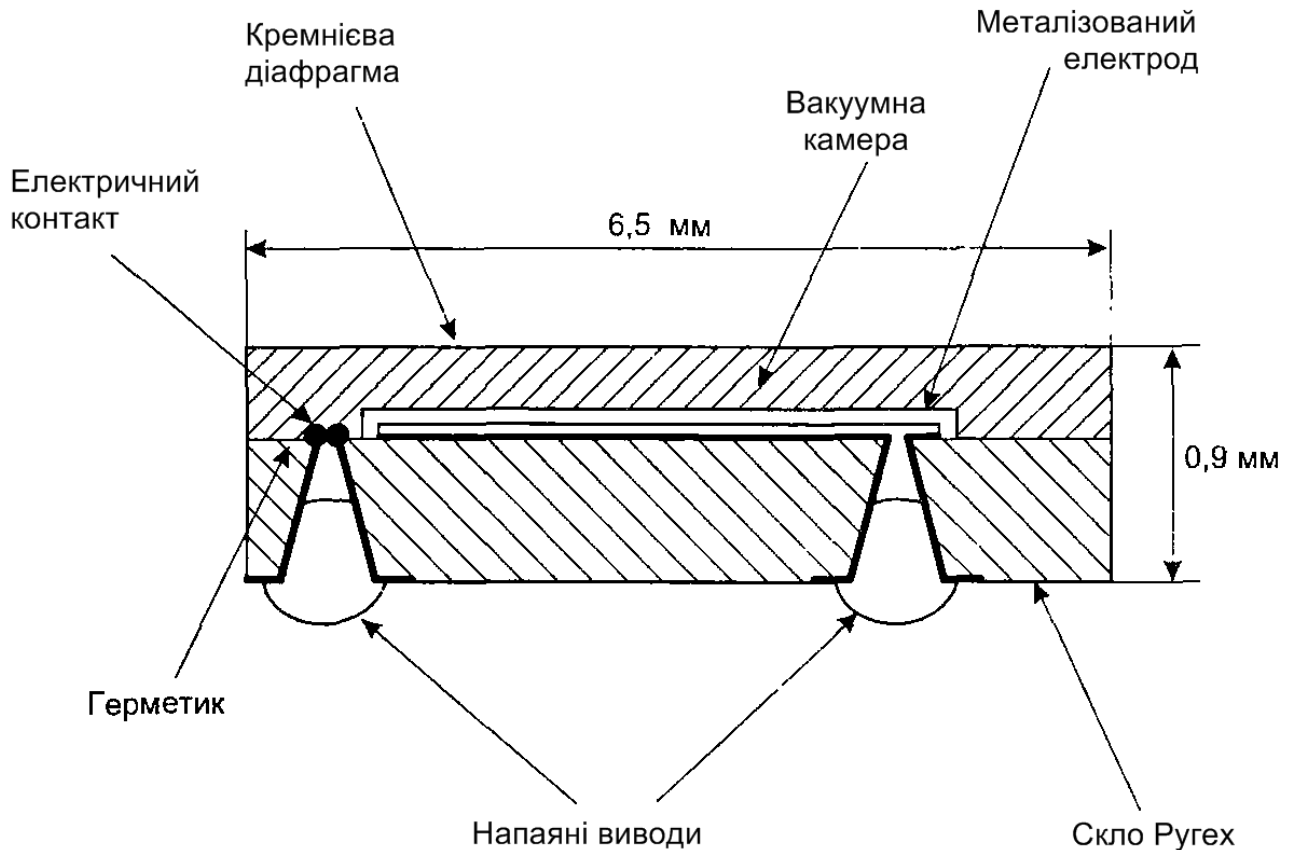
ЛДТ забезпечує похибку перетворення, переміщення сердечника в напругу порядку 0,25%.

Первинна обмотка підзаряджається синусоїдальною напругою 3...15 В із частотою 2...5 кГц. Коефіцієнт трансформації диференціального трансформатора 10:1...2:1.

ЛДТ характеризується відсутністю тертя, стабільністю нуля, гальванічною розв'язкою входу й виходу, може працювати у агресивних середовищах.

### Ємнісні датчики тиску

У цих датчиках одна з обкладок конденсатора є діафрагмою, яка прогинається при зміні тиску. Номінальна ємність конденсатора визначається залежністю  $C = A \cdot k \cdot \epsilon / d$ , де  $A$  — площа обкладки,  $\epsilon$  — діелектрична стала,  $d$  — відстань між обкладками,  $k$  - коефіцієнт, залежить від конструкції датчика. В якості чутливих елементів використовуються кремнієві чи керамічні діафрагми.



**Рисунок 2.9 - Ємнісний датчик з кремнієвим чутливим елементом для виміру розрідження (Ford).**

Кремнієва діафрагма закріплена на корпусі зі скла Ругех, поверхня скла металізована до створення обкладки конденсатора методом фотолітографії. Після закріплення кремнієвої діафрагми, на скляній основі спеціальним герметиком в порожнині створюється вакуум, отвори запаюються припоєм, який утворює виводи конденсатора для монтажу на плату або керамічну підкладку. Ємність конденсатора змінюється лінійно приблизно від 32 до 39 пікоФ за зміни тиску від 17 до 105 кПа. Розміри датчика 6,7 x 6,7 мм, коефіцієнт ТКЕ —  $(30...80) \cdot 10^{-6}$  (степені) на °С, нелінійність менш 1,4%, час встановлення менш 1 мс. Вихідний сигнал датчика для підключення до ЕБУ зазвичай перетворюють в частоту. Аналогічно влаштовані і керамічні датчики.



## Скловолокнистий датчик тиску

Для вимірів великих тисків або за високих температур застосовуються спеціальні методи. Скловолокнистий датчик можливо буде використовуватися для безпосереднього вимірювання тиску в камері згоряння на серійних автомобілях. Це потрібно для управління двигуном і контролю процесу запалення робочої суміші. Скловолокнистий, іноді говорять волокняно-оптичний, датчик (рисунок 2.10) витримує температури до 550 °С (більше, ніж п'єзоелектричний), робочий діапазон тисків 0...1000 psi (7000 кПа) з переваженнями до 3000 psi. Світлове випромінювання від джерела проходить через оптичні волокна й потрапляє на діафрагму розбіжним пучком. Відбите від діафрагми випромінювання проходить по іншому каналі кабеля. Інтенсивність зворотного світлового випромінювання залежить від зазору  $D$  й положення діафрагми. Досвідчені зразки датчиків монтувалися у свічку запалювання і мали похибку менше 5%. В якості датчиків аварійного тиску й для виконання інших нескладних функцій у сучасних автомобільних системах, поруч із вищеописаними, використовуються найпростіші контактні датчики.

### 2.3. Датчики температури і вологості

Температура і вологість — найважливіші чинники, враховані під час проектування і експлуатації автомобілів. Автомобілі експлуатуються у різних кліматичних зонах (-60...+57 °С), причому у підкапотному просторі температура може змінюватися буде в діапазоні -40...+ 125 °С; в салоні —40...Ч 85 °С. Температура і вологість у різних куточках автомобіля може мати значення, величини якого зведені в таблиці 2.4.

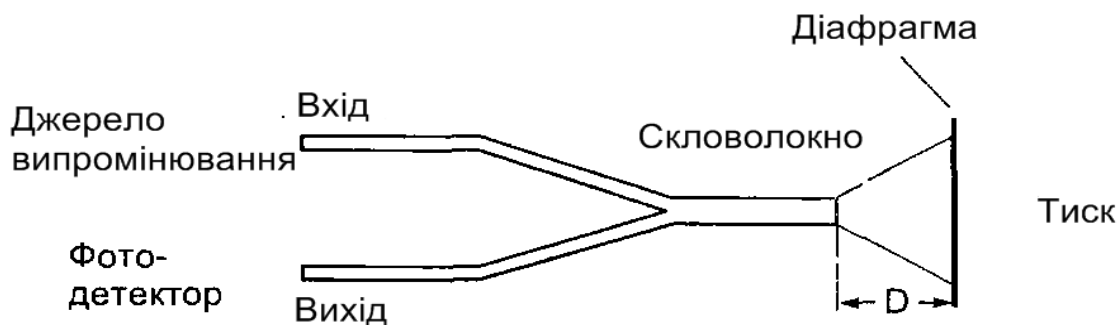


Рисунок 2.10 - Скловолокнистий датчик тиску

Таблиця 2.4

Вузол	Температура, [°С]	Вологість (відносна)	Іній
Випускний колектор	-40...+649	95% при 38 °С...0	+
Впускний колектор	-40...+121	95% при 38 °С...0	+
Панель приладів	-40...+141	95% при 38 °С...0	-
Шасі, корпус	-40...+177	98% при 38 °С...0	+

Таблиця 2.4

### 2.3.1 Вузли автомобіля, у яких здійснюється вимірювання температури

В багатьох вузлах автомобіля необхідно здійснювати вимірювання температури на етапі доведення досвідченого зразка. На серійних автомобілях датчики температури необхідні для забезпечення штатної роботи двигуна, системам управління і діагностики. У таблиці 2.6 перераховані основні системи автомобіля, в компонентах яких виконується вимірювання температури і можливо буде здійснюватись вимір вологості найближчим часом.

Таблиця 2.6

Вузол/система	Параметр
Система керування двигуном	Температура повітря в впускному колекторі
	Температура охолоджувальної рідини в двигуні
	Вологість повітря в впускному колекторі
	Температура повітря за бортом
	Температура палива
Система керування кліматом в салоні	Вологість повітря в салоні
	Температура повітря в салоні
	Температура повітря за бортом
Інформаційна система водія	Температура охолоджувальної рідини в двигуні
	Температура гальмівної рідини в колісних гальмівних циліндрах
	Температура повітря за бортом
	Температура повітря в салоні
	Температура повітря в шинах
	Температура електроліту
	Наявність дощу (опадів)
	Інтенсивність сонячної радіації

Таблиця 2.5

Джерело	Примітка	Макс. температура, °C
Двигун	Процес згорання	>1000
Каталітичний нейтралізатор	Хімічні реакції	>1000
Шини	Тертя до дороги, удари	<100
Гальма	Колодки	<250
Лампи освітлення	Звичайні	<125
Лампи в фарах	Галогенові	<750
Сильові транзистори	В електронних схемах	<200

Вологість впливає на комфортабельність салона і робочу здатність деяких вузлів автомобіля. На автомобілі є достатня кількість джерел тепла, які вказані в таблиці 2.5

Методи і кошти виміру температури можуть відрізнитись для серійних та досвідчених автомобілів. Для серійних найважливіші експлуатаційні характеристики, надійність, вартість. Для досвідчених — сумісність зі складною вимірювальним і

реєструючим устаткуванням, доступність такого обладнання в даний час.

► Температура рідинних середовищ. Це зазвичай охолоджувальна рідина (охолоджувач ДВЗ), масло двигуна, в коробці передач, паливо, гальмівна рідина, електроліт в акумуляторі. Температура охолоджувача контролюється на серійних автомобілях. Можна контролювати температуру масла у двигуні і в коробці передач. На гоночних автомобілях при відборі пікової потужності контролюється температура палива, масла, охолоджувача. Температура зазначених рідин вимірюється не більше - 40...+200 °С.

► Температура електроліту в акумуляторах повинна враховуватися для установки оптимальної зарядної напруги на генераторі. Це потрібно зазвичай на етапі випробувань. Використовуються скляні термометри чи засклені термопари. На електромобілях можна використовувати акумулятори з робочою температурою електроліту 300...350 °С чи тверді паливні елементи з робочою температурою до 1000 °С, при цьому система управління і діагностики повинна постійно контролювати цю температуру.

► Температура повітря на серійних автомобілях контролюється на вході у двигун, за бортом, в салоні. При випробуваннях вимірюється температура повітря поблизу електронних компонентів, верхня межа зазвичай 85... 125 °С.

► Температура в каталітичному нейтралізаторі раніше контролювалася тільки на етапі випробувань, так як її високі робочі значення (>350 °С) не повинні надавати негативного впливу поблизу розташовані вузли автомобіля. Сьогодні є необхідність прискореного розігріву нейтралізатора під час пуску двигуна для якнайшвидшого його приведення в робочий стан і зменшення токсичності вихлопу. Розігрів проводять чи бензиною горілкою чи електрично, при цьому здійснюється контролю над температурою нейтралізатора. Вимірювання температури проводиться з діагностичною метою.

► Температура датчика кисню (>350 °С) контролюється на етапі випробувань автомобіля та двигуна.

► Температура повітря на шинах, поруч із тиском, вимірюється на досвідчених і гоночних моделях автомобілів. Наприклад, система Michelin для гоночних автомобілів Peugeot Proxima має датчики у кожному колесі, сигнали передаються на радіочастоті приймача і після цього а інформаційну систему водія. При  $t > 85$  °С дана система рекомендує знизити швидкість до 240 км/год, при  $t > 90$  °С до 160 км/год, при  $t > 100$  °С — зупинитися.

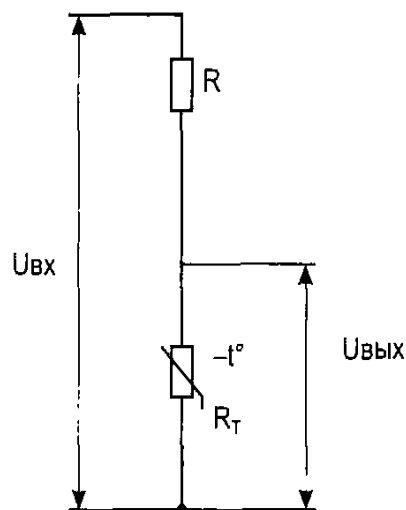
► Температура у силових електронних і інтегральних схемах контролюється автоматично. Це зберігає дорогі компоненти в аварійних режимах, наприклад, при короткому замиканні. Зрозуміло, що датчики температури на автомобілі відрізняються за призначенням і мають різні робочі діапазони. У таблиці 2.7 наведено типи датчиків. Тип Р — використовується на серійних моделях; тип D — на досвідчених автомобілях при її випробуваннях; тип F — можливе використання у майбутньому.

Таблица 2.7

Тип датчика	Діапазон температур, °С	Використовування
Термистор	0...500	P
Термопара	-200...+3000	D
Біметалева пластина	-50...+450	P
Потенціометричний	-40...+125	P
Резистор (платиновий)	-200...+850	P
p-n-перехід	-40...+200	P
Термостат	-50...+500	P
Волоконна оптика	0...+1800	D/F
Термоіндикатори	-40...+1350	D
Інфрачервоний термометр	-200...+1000	D

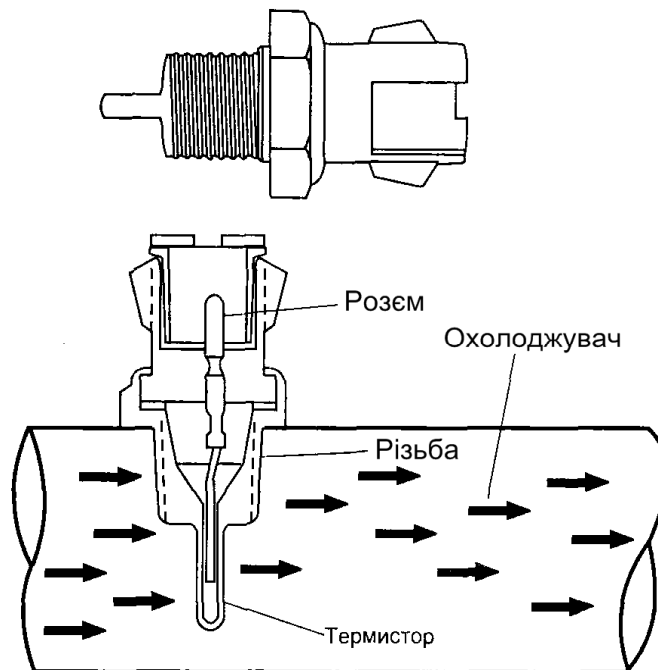
### 2.3.2 Термістори

Термістори найчастіше використовуються для виміру температури на автомобілях. При зміні температури змінюється електричний опір термістора і вихідний сигнал датчика як струму чи напруги. Здебільшого термістори мають негативний температурний коефіцієнт опору. Термістори, які використовуються в автомобільній промисловості, мають опір і від кількох кілоомм при 0°C до сотень Ом при 100 °С.



**Рисунок 2.11 - Схема ввімкнення термістора  $R_T$**

На рисунку 2.11 показана найпростіша схема перетворювача температури в напругу. Напруга має бути стабільною, робочий струм не повинен нагрівати термістор, інакше виникнуть додаткові похибки. Температура термістора поповнюється 1°C на кожні 1,3 мВт розсіюваної потужності. Типовий приклад застосування термісторів на автомобілі— датчик температури охолоджувальної рідини (рисунок 2.12). Датчик повернутий у випускний патрубок охолоджувальної рідини, закріплений на головці блока циліндрів чи безпосередньо в головку блоку.



**Рисунок 2.12 - Датчик температури охолоджувальної рідини**

► Термісторний датчик температури повітря має аналогічну конструкцію. Розташований у системі подачі й очищення повітря. Робочий діапазон температур  $-40 \dots 120 \text{ }^\circ\text{C}$ . У окремих випадках, з метою підвищення чутливості, передбачається шунтування додаткового опору  $R$  у схемі показань на рисунку 2.11. При цьому характеристики термісторного датчика змінюються відповідно до таблиці 2.8.

**Таблиця 2.8**

	Температура, $^\circ\text{C}$	Опір термістора, Ом	Вихідна напруга, В
<b>Шунт вимкнено</b>	-40	> 100000	5,00
	-8	3260	3,93
	0	2940	3,56
	10	2445	2,98
	20	1956	2,41
	30	1493	1,86
	40	1115	1,40
<b>Шунт ввімкнутий</b>	50	786	3,69
	60	566	3,27
	70	426	2,87
	80	308	2,44
	90	226	2,05
	100	170	1,70
	110	128	1,39
	120	98	1,15

### 2.3.3 Термопары

Термопара являє собою пристрій, що складається з двох провідників з різнорідних металів чи сплавів зі зварювальним контактом на одному з кінців. З протилежного боку два провідника з'єднують один з одним, отже утворюється замкнутий ланцюг. Якщо температури, при яких знаходяться два протилежних контакта, різні, то в замкнутому ланцюзі буде протікати струм. Цей струм існує у ланцюгу до того часу, поки існує різниця температур. Електрорушійна сила, що викликає спостережуваний струм, називається термо ЕРС Зеебека. Якщо замкнутий ланцюг розірвати посередині, то напруга між його розімкнутими вільними кінцями буде функцією різниці між температурою зварного контакту і температурою вільних кінців і залежатиме від конкретної комбінації матеріалів в термопарі. Термопары використовуються зазвичай для виміру високих температур. Наприклад, термопара, виконана з сплаву 70% платини і 30% родію чи 94% платини і 6% родію, працює у діапазоні температур 0...1500 °С. Такий датчик встановлюється в випускному трубопроводі. Термопары в автомобілях використовуються на етапі випробувань.

### 2.3.4 Інші типи датчиків температури

► У датчику температури з урахуванням біметалічного чутливого елемента (рисунок 2.13) використовується властивість різних металів по-різному змінювати свої лінійні розміри залежно від температури. Вигин (переміщення) пластини використовується для замикання чи розмикання контактів чи переміщення движка потенціометра. У першому випадку виходить дискретний датчик температури, а в другому - аналоговий датчик температури.

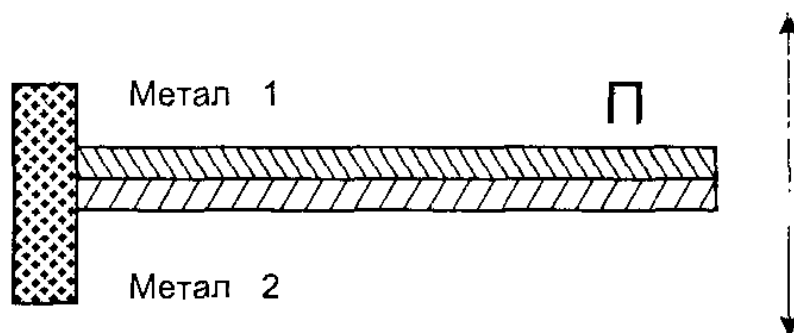


Рисунок 2.13 - Біметалічний чутливий елемент

► У датчиках температури, реалізованих на р-п-переході, використовується властивість переходу змінювати падіння напруги залежно від температури при постійному струмі. Наприклад, в якості датчика використовується перехід база-емітер кремнієвого транзистора з малим струмом колектора (близько 0,1мА) для запобігання саморозігріву. У діапазоні температур -40...+150 °С напруга на переході змінюється від 730 до 300 мВ з нелінійністю  $\pm 3$  мВ. Такі датчики розміщуються у мікросхемах силових перетворювачів і стабілізаторів.

► Термостат — це механічний датчик температури. Розширювальний елемент приводить в дію клапан, пере направляючий потік охолоджувальної рідини в радіаторі.

► Термоіндикатори — матеріали, температура плавлення яких калібрується з точністю до  $\pm 1$  °С, при цьому змінюється колір. Використовуються у виді фарби чи аплікацій, що наносяться на дану поверхню під час випробувань автомобіля.

► Інфрачервоні термометри (пірометри) визначають температуру тіл по їхньому тепловому випромінюванню. Метод безконтактний.

### 2.3.5. Датчики вологості

Цей тип датчиків інтенсивно використовується під час кліматичних випробувань автомобіля. На серійних автомобілях поки що не встановлюються. Здебільшого використовуються датчики відносної вологості — резистивні і ємкісні. У ємкісних вологість змінює діелектричні властивості ізолятора (полімерної плівки). Такі датчики стабільні, працюють до 180°C. У резистивних датчиках змінюється опір об'ємного полімеру залежно від відносної вологості. Наприклад, за зміни відносної вологості не більше 10... 100% опір датчика змінюється у діапазоні  $2 \cdot 10^7$  (в 7 степені)... $2 \cdot 10^9$  (в 3 степені) Ом.

## 2.4 Датчики витрати рідин і газів

### 2.4.1 Загальні відомості

Датчики витрати необхідні оптимальної реалізації основних функцій управління двигуном. Наприклад, в системах управління впорскуванням кількість подаваного в двигун палива розраховується по масі повітря, подаваного в циліндри. Маса повітря  $M$  вимірюється безпосередньо чи опосередковано, по об'ємній витраті:

$$M_{\lambda} = N \cdot V \cdot \eta \cdot P / R_{\lambda} \cdot T_{\lambda}$$

$V$  — число оборотів,  $V$  — обсяг двигуна (літраж),  $\eta$  — коефіцієнт використання обсягу двигуна ( $\eta = f(N)$ ),  $P$  — розрідження у впускному колекторі,  $R_{\lambda}$  — конструктивна стала,  $T_{\lambda}$  — температура повітря у впускному колекторі. При непрямому вимірі маси  $M$  повітря треба враховувати залежність об'єму ( $V$ ) від коксування, а також запізнення змін  $P$  стосовно змін  $M$ . Такий спосіб виходить дешевшим по відношенню до безпосереднього виміру маси повітря, але менш точним. Сучасні автомобілі оснащуються переважно датчиками для безпосереднього виміру маси  $M$  всмоктуваного в циліндри повітря. Вихідний сигнал таких датчиків аналоговий (0...4 В) чи частотний. Крім виміру маси що надходить двигун повітря датчики витрати вже сьогодні знаходять застосування в автомобілі у таких випадках:

- щодо витрати палива для інформаційної системи водія. Витрата визначається по різниці між кількістю палива, котре вступило в рампу форсунок і повернулось в бак;
- щодо витрати через клапан рециркуляції вихлопних газів (EGR). При певних умовах вихлопні гази через клапан EGR охолоджують камеру згоряння, що знижує зміст  $NO_x$  в вихлопі. Контроль за витратою газу через клапан — одне із способів перевірки вмотивованості його функціонування. Відповідно до вимог OBD-II, ЕБУ має здійснювати постійний моніторинг систем, несправність яких призведе до підвищення забруднення доквілля;
- щодо витрати додаткового повітря на каталітичному нейтралізаторі. У деякі типи нейтралізаторів для мінімізації токсичних речовин  $CO$  і  $CH$  застосовується подача додаткового повітря при прогріві двигуна, коли робоча суміш багата. Справність насоса контролюється по витраті повітря. Безпосередній контроль над складом вихлопних газів не застосовується через високу вартість вимірювального устаткування. У таблиці 2.9 наведено дані про параметри сучасних датчиків витрати рідин і газів.

Таблиця 2.9

Найменування	Що вимірюється	Діапазон, [кг/год]	Допустима похибка, [%]
Повітря, що поступає в двигун	Маса	10...1000	±4
Розхід палива	Маса / об'єм	1...66	±4
Вихлопні гази	Маса	30...100	±10
Дод. повітря в нейтралізаторі	Об'єм	50 м <sup>3</sup> /год	±20

### 2.4.2 Витратоміри і масметри

По виду інформації датчики витрати рідин і газів поділяють на дві групи — на витратоміри і масметри.

► Якщо витрата рідини чи газу (наприклад повітря) визначається за обсягом середовища, то датчик називається об'ємним витратоміром. До таких датчиків відносяться витратоміри повітря для автомобільних систем впорскування бензину. Натомість витратоміри повітря поділяються на механічні — з круглим плаваючим ротометром; потенціометричні — з вітрильною вимірювальною заслінкою; вихрові (датчики Кармана) — з розсікачем повітряного потоку, який виконує функцію генератора повітряних завихрень, частота чи варіації тиску, у яких несуть інформацію про обсяг пропущеного повітря.

► Якщо витрата текучого середовища (рідини чи газу) визначається безпосередньо щодо маси, то вимірювальний датчик називається масметром. Масметри, на відміну витратомірів, видають якіснішу метрологічну інформацію. Особливо це стосується повітряних масметрів, так як обсяг газоподібних середовищ, на відміну від рідин, значною мірою залежить від температури і тиску. Так, в разхідометрах повітря, що працюють у системах впорскування бензину, доводиться встановлювати додаткові (коригувальні) датчики температури і тиску в атмосферному повітрі. Масметри в системах впорскування працюють без таких датчиків. Основний принцип дії повітряних масметрів ґрунтується на застосуванні платинової нитки, яка розігріта електричним струмом, в якості датчика інформації про масу прохідного повітряного потоку, охолоджуючого розігріту нитку.

### 2.4.3 Датчик Кармана

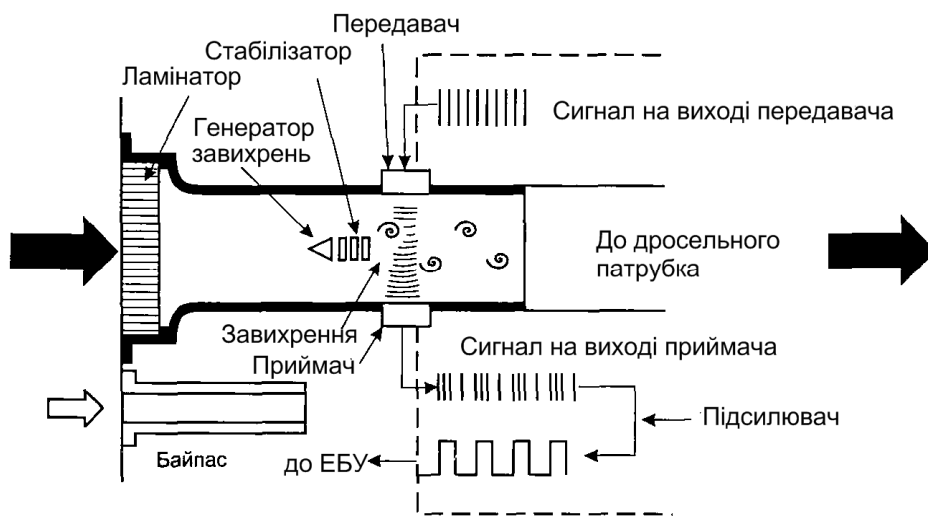
Датчики Крамана відносяться до вихрових розхідометрів повітря. Якщо вузький стрижень (розсікач) розмістити впоперек рівномірного повітряного потоку, то за стрижнем почнуть утворюватися завихрення. Принцип роботи датчика Кармана ґрунтується на вимірі частоти обертання вихрових потоків, які утворюються за поперечним стрижнем серед всмоктуваного повітря. Швидкість  $V$  потоку повітря визначається рівнянням:

$$V = f \cdot (d/St)$$

де  $d$  — константа, що залежить від геометрії стрижня;  $St$  — критерій подоби

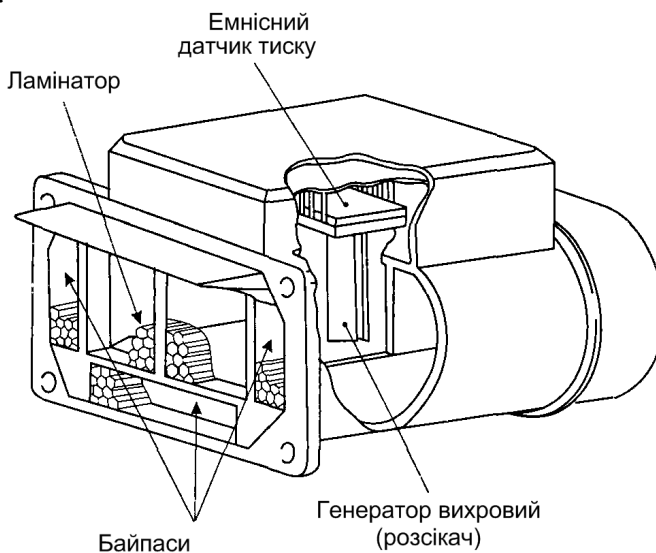


невстановлених рухів мінливих середовищ (число Струхалія) для конструкцій автомобільних датчиків витрати повітря  $St = 0,23; f$  — частота обертання вихрових потоків (генерації вихорів). По частоті виявляють швидкість, потім по відомому поперечному перерізу вхідного каналу датчика — обсяг повітря. Частоту генерації вихорів визначають ультразвуковим методом чи по варіаціях тиску.



**Рисунок 2.14 - Ультразвуковий датчик Кермана**

► В ультразвукових датчиках (рисунок 2.14) частоту генерації вихорів визначають по доплерівському зрушенню частоти ультразвукової хвилі (зазвичай 50 кГц) при її розсіянні рухомих середовищем (потоків повітря). Датчики, аналогічні датчику на рисунку 2.14, використовувались на двигунах з центральним вприском автомобілів Chrysler.

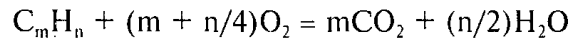


**Рисунок 2.15 - Датчик Кармана з виміром варіацій тиску**

► Датчики Кармана з урахуванням підрахунку числа вихорів по варіаціям тиску набагато дешевші. В них напівпровідниковий, чутливий до змін тиску елемент розташований безпосередньо за вихровим стрижнем (розсікачем). Вихор, з'являється за стрижнем, викликає зміну тиску, яке перетворюється в електричний сигнал, що надходить у ЕБУ двигуна. Конструкцію такого датчика показано на рисунку 2.15.

## 2.5 Датчики складу вихлопних газів

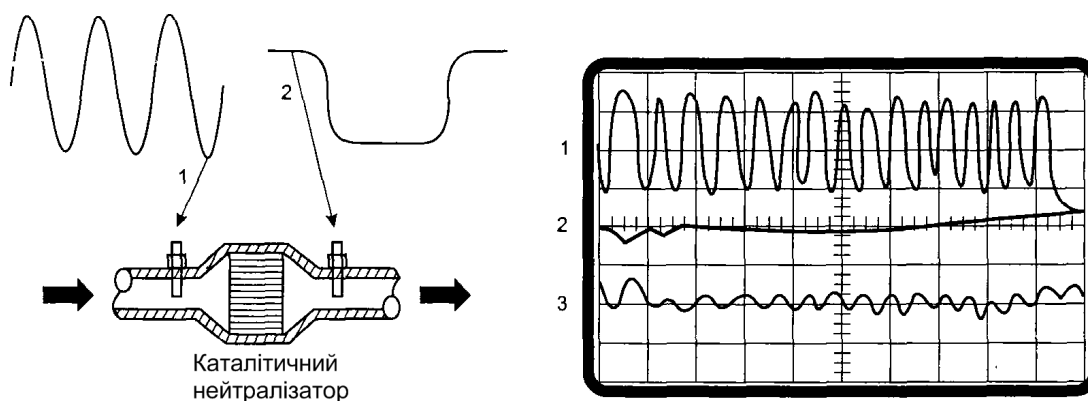
Процес спалювання палива описується рівнянням:



У ідеальному разі, коли склад ТВ-суміші стехіометричний ( $\lambda = 1$ ), під час спалювання 1 кг (1 л) палива й 14,7 кг (10 м<sup>3</sup>) повітря утворюються вода і двоокис вуглецю. Ці речовини нетоксичні. Але навіть за стехіометричним складом ТВ-суміші її згоряння здійснюється не повністю й утворюються токсичні речовини. Згоряння багатой суміші ( $\lambda < 1$ ) призводить до появи надлишкової кількості CO, H<sub>2</sub> і CH, бідні суміші ( $\lambda > 1$ ) призводять до утворення NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>. На сучасних автомобілях шкідливі компоненти вихлопних газів нейтралізуються. Майже будь-яка система нейтралізації містить у собі датчик (або два датчика) концентрації кисню, що у англомовної літературі називається лямбда-зондом ( $\lambda$ -зонд).

### 2.5.1 Цирконієві і титанові датчики концентрації кисню в вихлопних газах

У сучасних автомобільних двигунах, наділених каталітичними нейтралізаторами, важливо точно контролювати склад ТВ-суміші і підтримувати коефіцієнт надлишку повітря близьким до одиниці. І тому застосовуються датчики кисню, встановлювані у системі відводу вихлопних газів і виробляють сигнал, який залежить від концентрації кисню в вихлопі. Прямий вимір концентрації CO, CH і NO<sub>x</sub> у вихлопних газах на серійних автомобілях економічно недоцільно. Натомість застосовується система нейтралізації з цими двома датчиками кисню. Другий датчик кисню встановлюється на виході нейтралізатора і контролює його справність (рисунок 2.16). У справному нейтралізаторі надлишковий кисень бере участь у хімічних реакціях, його концентрація в вихлопних газах зменшується й у вихідному сигналі другого датчика кисню на виході нейтралізатора практично немає коливань (позиція 2 на рисунку 2.17). Чим більше засмічений чи отруєний нейтралізатор, тим більше схожі сигнали вхідного і вихідного датчиків (позиція 1 і 3 на рисунку 2.17). Докладно про цирконієві і титанові датчики кисню дивись в [3] і [4].



**Рисунок 2.16. Датчики кисню на вході (1) і виході (2) каталітичного нейтралізатора з відповідними вихідними сигналами**

**Рисунок 2.17. Вихідний сигнал вхідного(зверху -- 1) і вихідного(знизу --2 і 3) датчиків кисню**

### 2.5.2 Датчики кисню для двигунів, які працюють на збіднених сумішах

Підвищення вимог до зменшення кількості токсичних речовин, що викидаються у повітря з вихлопними газами автомобіля, зокрема можливе нормування найближчим часом змісту  $\text{CO}_2$ , і навіть підвищення вимог до паливної економічності роблять необхідним застосування двигунів, які більш ефективно використовують паливо. Потенційно таким вимогам відповідають двигуни, які працюють збіднених сумішах. Використання робочих сумішей з співвідношенням повітря/паливо 16:1...25:1, коли має місце активне вигорання надлишкового кисню, може дати економію палива по меншій мірі на 10% і значне зменшення  $\text{NO}_x$  й  $\text{CO}$  в вихлопних газах. У двигуні, що працює на збідненій ТВ-суміші, потрібно понад точне регулювання її складу і більш потужна іскра запалювання. Вже є такі автомобільні двигуни, випущені серійно (наприклад, на японських автомобілях Honda VTEC-E і Toyota Carina-E).

Необхідним елементом системи автоматичного управління таким двигуном є аналоговий датчик кисню з вихідним сигналом, який міняється не стрибкоподібно, а плавно в пропорції із вмістом кисню в вихлопних газах (рисунок 2.18). Аналоговий датчик кисню для двигунів з збідненими робочими сумішами є модернізацією звичайного цирконієвого датчика. Крім виявлення точки стехіометричного складу ТВ-суміші він може видавати робочий сигнал, пропорційний зміні співвідношення повітря/паливо в ТВ-суміші від дуже збагаченого (10:1) до дуже збідненого (35:1).

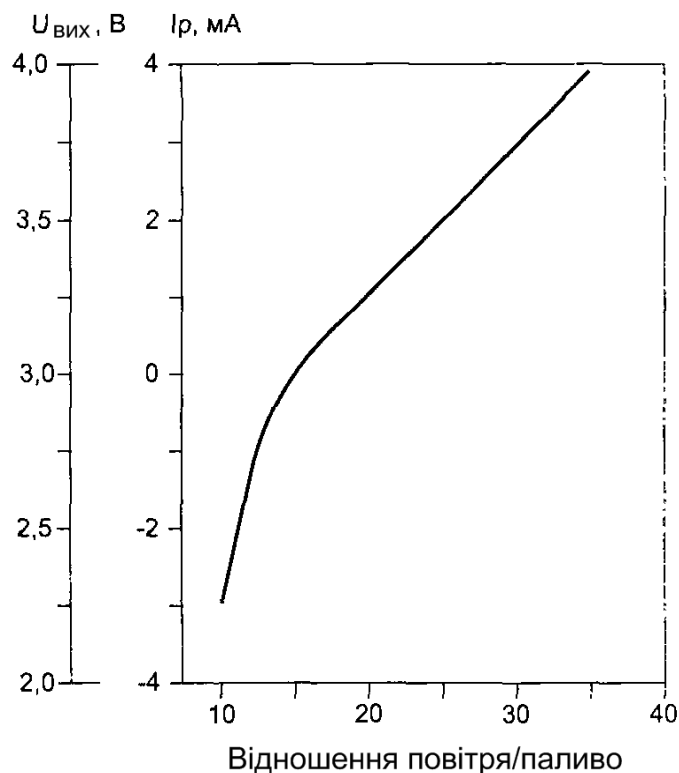
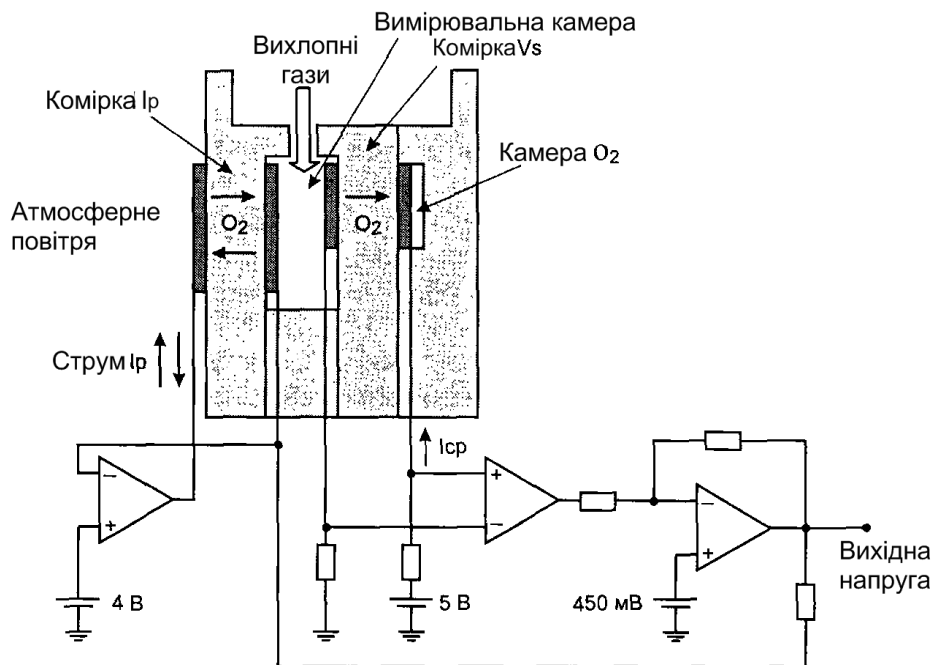


Рисунок 2.18 Сигнал аналогово датчика кисню

Конструкцію одного з типів таких датчиків кисню показано на рисунку 2.19. Датчик вироблений із цирконієвої кераміки з платиновими електродами. Він складається з двох осередків для переміщення іонів кисню: осередка I, куди закачуються іони кисню, і осередка V, де виявляються іони кисню.

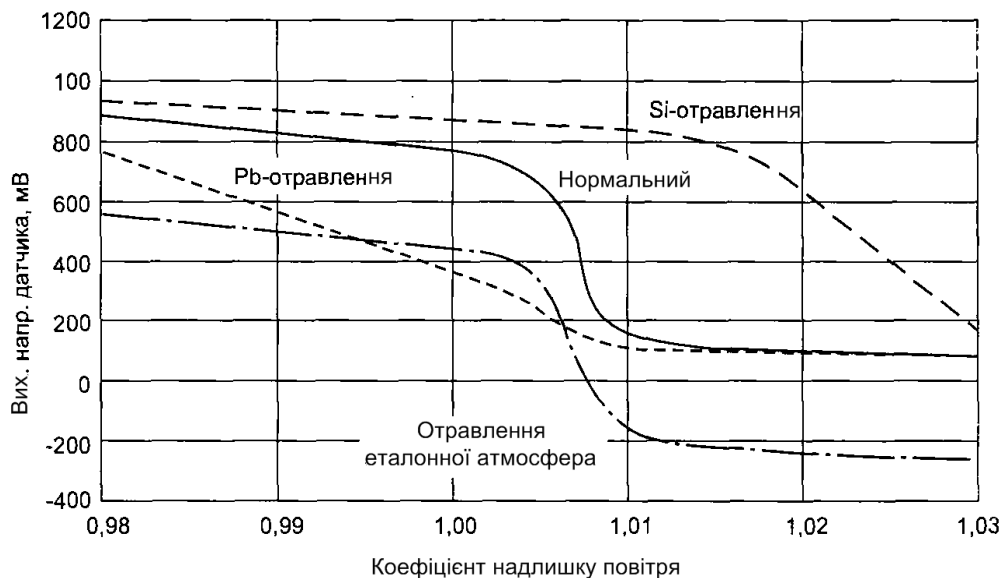


**Рисунок 2.19 - Конструкція і електронна схема датчика кисню для ДВЗ, працюючого на збіднених ТВ-сумішах**

Електронна схема формує струм  $V$ , на одному й тому самому рівні 0,45 В. Отже струм  $I$  стає мірою співвідношення повітря/паливо для робочої суміші і формує вихідний аналоговий вихідний сигнал датчика у виді напруги.

### 2.5.3 Вплив різних факторів на характеристики датчиків кисню

За появи деяких речовин, у вихлопному колекторі відбувається зміна статичних характеристик датчика кисню (отруєння) і передчасній його поломці. Найчастіше це свинець (Pb) з етилірованого бензину чи кремній (Si) з силіконових герметиків (рисунок 2.20).



**Рисунок 2.20 - Вплив різних чинників на характеристики датчика кисню**

## 2.5.4. Газоаналізатори

Газоаналізатори призначені для визначення параметрів вихлопних газів у стаціонарних умовах на випробувальному стенді. Зазвичай, визначають зміст наступних газів у вихлопі автомобіля: окису вуглецю CO, двоокису вуглецю CO<sub>2</sub>, вуглеводнів CH<sub>4</sub>, кисню O<sub>2</sub>. Газоаналізатор виконується у вигляді окремого модуля зі своїм дисплеєм, а може підключатися через послідовний порт до комп'ютерного мотор-тестеру. Крім концентрації CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> газоаналізатор може визначати коефіцієнт надлишку повітря  $\lambda$  і співвідношення повітря/паливо. Показання можуть зніматися до і після каталітичного нейтралізатора. У таблиці 2.10 значення, отримані з допомогою газоаналізатора для сучасного двигуна у чудовому стані.

Таблиця 2.10

	CO, [%]	HC, [млн <sup>-1</sup> ]	O <sub>2</sub> , [%]	CO <sub>2</sub> , [%]	$\lambda$	Повітр./палив.
До нейтралізатора	0,6	120	0,7	14,7	1,0	14,7
Після нейтралізатора	0,2	12	0,1	15,3	1,0	14,7

Вміст окису вуглецю, двоокису вуглецю, вуглеводів визначається інфрачервоними методами, з допомогою властивостей різних газів по-різному поглинати інфрачервоне випромінювання. Зміст кисню визначається електрохімічними методами, використовується пристрій, аналогічний датчику кисню. Розглянемо схему виміру концентрації газу CO (рисунок 2.21). Інфрачервоний випромінювач нагрівається приблизно до 900 С. Його промені направляються рефлекторно через обертальний диск з отворами і далі через вимірювальну камеру у приймальну камеру. У приймальній камері, яка складається з двох герметичних порожнин (1 і 2), які зеднуються між собою по сполучному каналі, міститься певна концентрація газу CO.

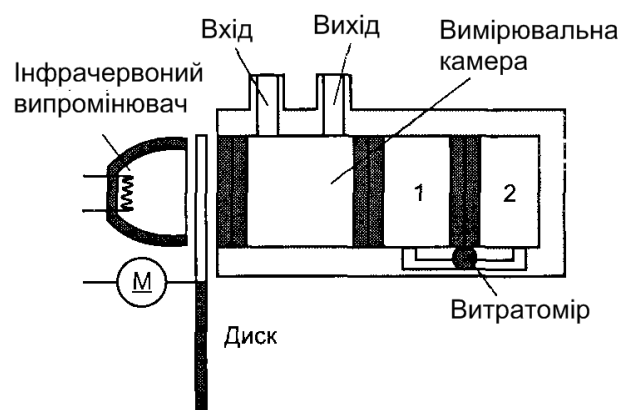


Рисунок 2.21 - Вимірювання концентрації CO

## 2.6 Датчики кутових, і лінійних переміщень і положень

### 2.6.1 Загальні відомості

Датчики кутових, і лінійних переміщень знаходять широке застосування автомобілем. Від простих — типу мікро вимикача дверях, до складних — типу лінійних диференційних трансформаторів в активній підвісці. Призначення датчиків такого типу — перетворення кутового чи лінійного переміщення в електричний сигнал.

Датчики виробляються контактними чи безконтактними. Контактні датчики піддаються зносу, на оптичні датчики негативно впливає пилюка і волога. Тож у сучасних безконтактних датчиках кутових і лінійних переміщень, що застосовуються у автомобільній промисловості, найчастіше використовують ті чи інші магнітні властивості чутливих елементів.

### 2.6.2 Контактні датчики (мікрореле)

Мікрореле — це найпростіші контактні датчики для фіксації певного крайового становища механічного об'єкта, наприклад дверей, скла в стклопідіймачі тощо. При спрацьовуванні мікрореле в ЕБУ подається сигнал, відповідний напрузі живлення або загальній шині. Для діагностики стану такого датчика та його ланцюга він включається за схемою, показаною на рисунк 2.22.

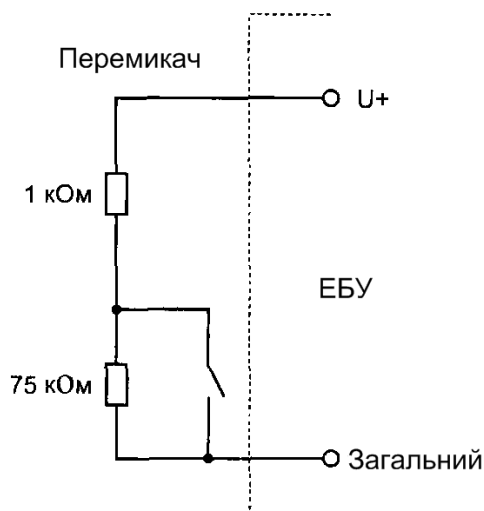
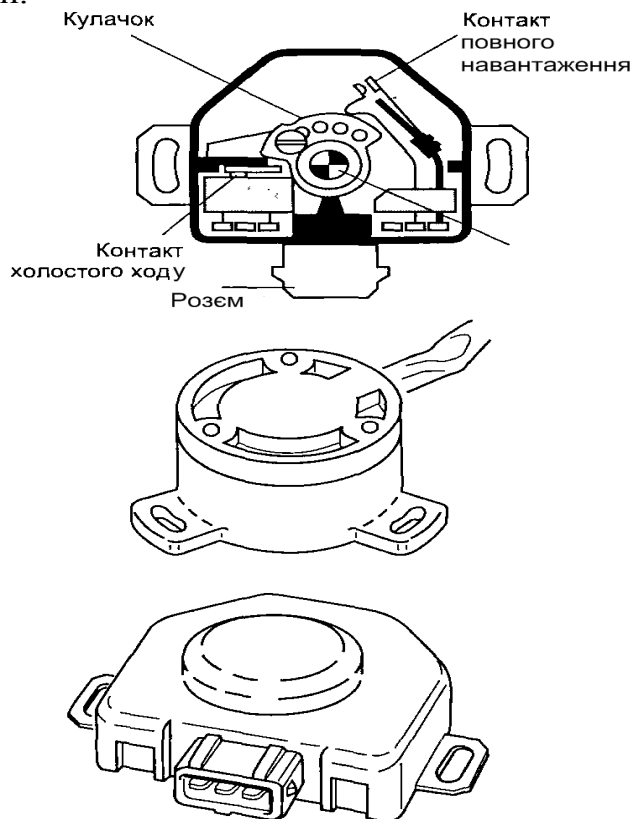


Рисунок 2.22 - Мікрореле з можливістю діагностування

### Потенціометричні датчики

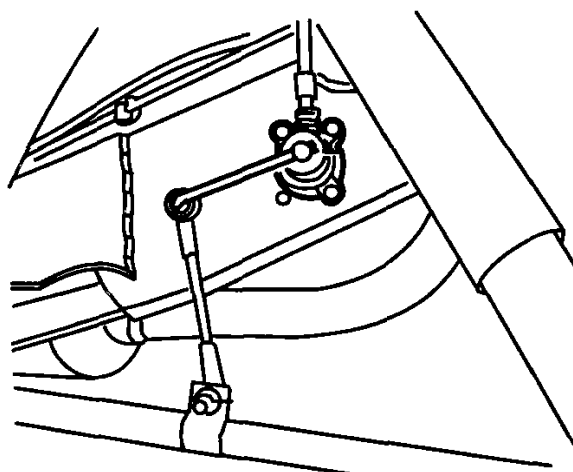
Потенціометри застосовуються автомобілем як датчики положення (наприклад, датчик положення дросельної заслінки тощо). Сучасні автомобільні потенціометричні датчики мають напрацювання на відказ більше, ніж термін експлуатації середнього автомобіля, витримують обертання двигла зі швидкістю до 1000 обертів на хвилину протягом 1000 годин. Дротові потенціометри характеризуються числом витків намотки на один градус: від 1 до 8. Опір дровяних потенціометрів лежить у межах 10... 10000 Ом, і задається з похибкою 5%. Перевага дровяних потенціометрів — можливість низькоомних датчиків. Недоліки: нелінійність, дискретність, швидкий знос (близько 10(в п'ятому) обертів). Частіше використовують як датчики положення недротові потенціометри з напиленням на пластиці чи кераміці резистивним покриттям. Щітки двигла демпфуються для опірності вібраціям. Опір автомобільних не дровяних потенціометричних датчиків положення лежать у межах 50...20000 Ом, з похибкою 10...20%. Потенціометри використовують у режимі дільника напруги, похибка їх номіналу немає великого значення. Лінійність і роздільна здатність висока. При вимірі лінійних переміщень двигла може перемішатися в рамках 10 м.м...3 м, при вимірі кутових — до 355 °. Потенціометричні датчики запитуються напругою 5 В від стабілізатора в ЕБУ. Ця напруга подається на АЦП і компаратори, що робить систему «датчик — АЦП» нечутливою до варіацій живлених і опорних напруг. Для оптимальної роботи потенціометричних датчиків в мікроелектронних схемах струм

через щітки движка обмежується величиною порядку 0,1 мкА. Датчик становища дросельної заслінки — ДПДЗ (рисунок 2.23) встановлено збоку дросельного патрубка на осі дросельної заслінки.



**Рисунок 2.23 - Датчик становища дросельної заслінки**

Він являє собою резистор потенціометричного типу, один з виводів якого з'єднаний із опорною напругою (5 В) контролера, а другий з масою контролера. Третій вивід з'єднує рухливий контакт ДПДЗ з вимірювальним входом контролера, що дозволяє контролеру визначити напругу вихідного сигналу ДПДЗ.



**Рисунок 2.24 - Датчик висоти кузова**

Дані про стан дросельної заслінки необхідні для розрахунку тривалості імпульсів управління форсунками. При повороті дросельної заслінки (рухом педалі акселератора) змінюється напруга на рухливому контакті ДПДЗ. При закритому становищі дросельної заслінки вихідний сигнал ДПДЗ нижче 0,7 В. Датчики висоти кузова

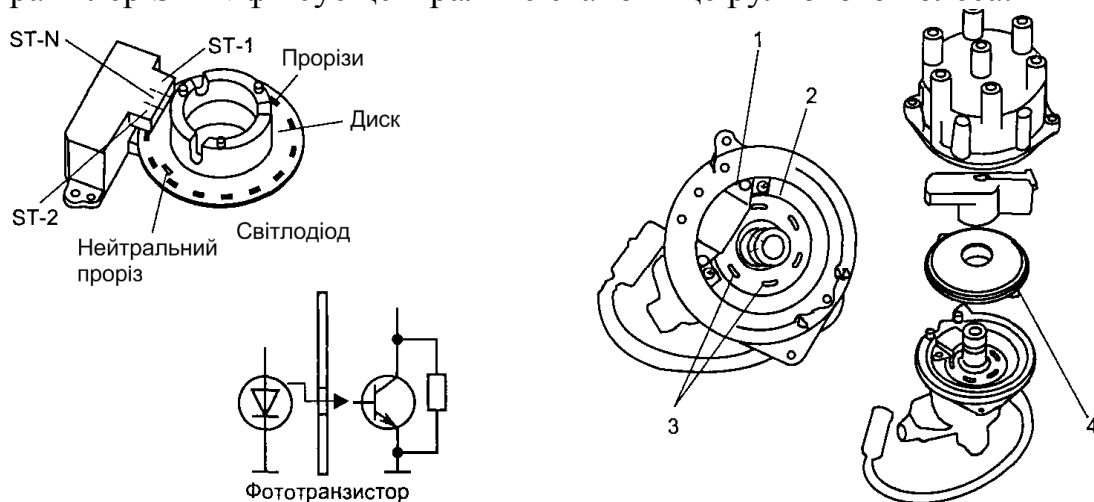
виробляються на основі звичайних потенціометрів, вихідна напруга датчика пропорційна висоті кузова стосовно шасі (рисунок 2.24). Такі датчики необхідні для роботи системи управління активною підвіскою.

### 2.6.3 Безконтактні датчики

У деяких автомобільних системах необхідна інформація про кутову швидкість чи кутовому становище обертового валу. Така інформація отримується безконтактними датчиками частоти обертання. Відомий ряд таких безконтактних датчиків, в основу роботи яких покладено різні фізичні явища: магнітоелектричні, на ефекті Холла, високочастотні, опто-електронні, струмовихрові, на ефекті Виганда, фотоелектричні.

#### Оптичні датчики

У оптичних датчиках відносного кутового становища використовуються світломодуючі диски з симетричними прозорими і непрозорими секторами. Для прецизійних датчиків диски скляні, для звичайних — металеві, які дешевші. Кодуючий диск висвітлюється з одного боку, з іншого є фотоприймачі. Кодуючий диск може мати від 16 до 6000 позицій на оборот. Сектора часто розташовують на двох радіусах, зміщуючи їх на половину довжини отвора, що у в чотири рази збільшує розрізнявальну здатність. Використовується третя доріжка для розміщення маркера. На рисунку 2.25 за приклад оптичного датчика кутового положення показаний датчик положення рульового колеса. Датчик містить обертовий диск з прорізами і три нерухомі оптоелектронні пари. Диск разом із кермом обертається між світлодіодами і фототранзисторами. При повороті керма на фототранзисторах виробляються послідовності електричних імпульсів, якими ЕБУ визначає кут і швидкість повороту. Для визначення напрямку повороту необхідно мати два фотопереривача ST-1 і ST-2. Третій трапслер ST-N фіксує центральне становище рульового колеса.



**Рисунок 2.25 - Датчик становища рульового колеса**

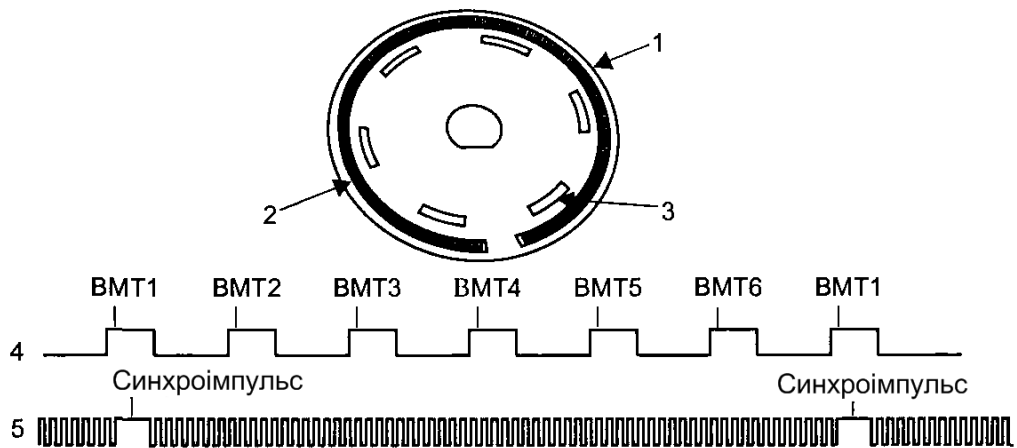
### Рисунок 2.26. Розподільник автомобіля Chrysler рульового колеса з оптичним датчиком:

- 1 — оптичний датчик з інтегральною мікросхемою,
- 2 — диск,
- 3 — прорізи,
- 4 — захисна касета

Наприкінці 80-х років років автомобілях Chrysler (США) та деяких японських автомобілях у системі запалювання використовувалися оптичні датчики кутового



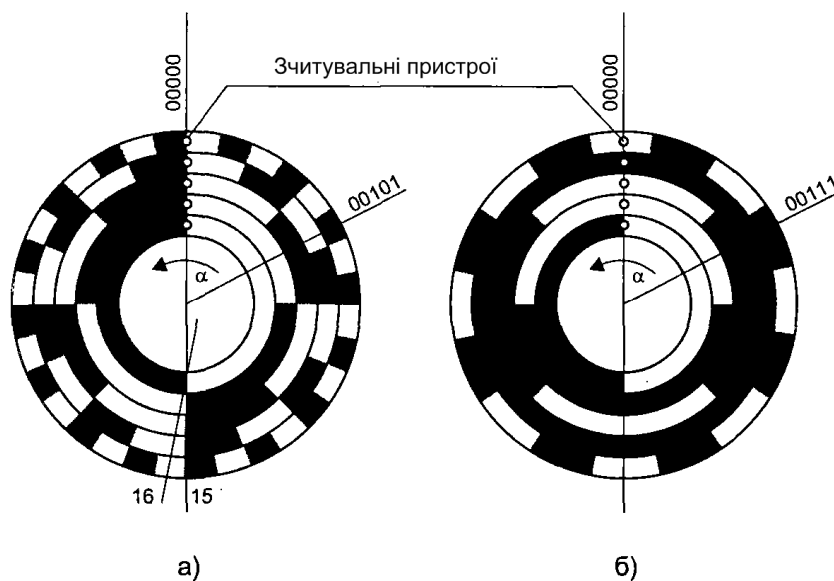
становища колінчатого вата і ВМТ. Датчик містився в розподільнику (рисунок 2.26) в захисній касеті для зменшення забруднення і світлових перешкод. На рисунку 2.27 показано кодуєчий диск датчика з прорізами на двох радіусах і вихідні сигнали датчика. З зовнішнього радіуса диска знімається інформація про кутове становище колінчастого валу шести циліндрового ДВЗ, з внутрішнього про ВМТ. Світлодіоди і фототранзистори доводиться періодично очищати від забруднення.



**Рисунок 2.27 - Диск оптичного датчика в розподільнику:**

- 1 — диск,
- 2 — прорізи зовнішнього радіуса,
- 3 — прорізи внутрішнього радіуса,
- 4 — сигнал з внутрішнього радіуса,
- 5 — сигнал з зовнішнього радіуса

Випускаються серійні мікросхеми для підключення до оптичних датчиків. Дешифрується відносно кутове положення і напрям обертання. Кутове становище вимірюється з похибкою 10...40 хвилин. При обертанні кодуєчого диска може бути похибка через кінцевої крутизни фронтів сигналів. Типовий частотний діапазон для світлодіода трохи більше 100 кГц.

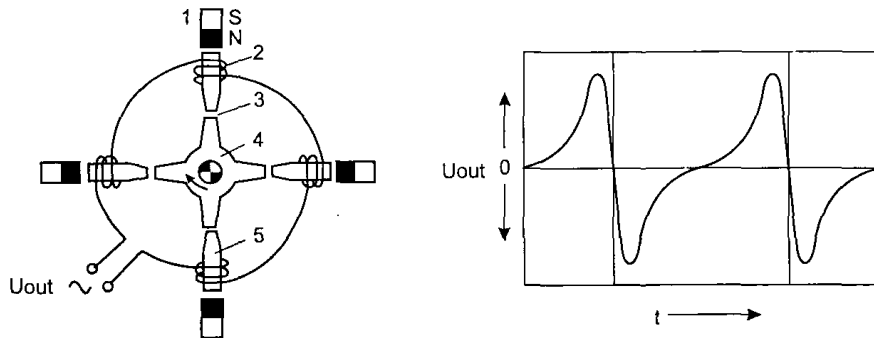


При цьому, наприклад, для диска зі 100 помітними позиціями частота обертання може бути понад 1000 хв( в -1 степені). Оптичні датчики абсолютного кутового становища застосовуються там, де інформація потрібна відразу після подачі живлення. Оптичні кодуєчі диски таких датчиків (рисунок 2.28) мають розширення від 2(в 6

степені) до 2<sup>16</sup> (в 16 степені), формат даних — двоїчний, двоїчно-десятковий, код Грея. На диску є N концентричних доріжок з секторами, де N — розрядність слова. Зчитувальний пристрій може сприйняти частину розрядів із сусіднього сектора, тоді виникає помилка зчитування.

### Магнітоелектричні датчики

Найпоширенішим типом магнітоелектричного датчика є генераторний датчик комутаторного типу з пульсуючим магнітним потоком. Принцип дії такого датчика залежить від зміни магнітного опору магнітного ланцюга, отже, і магнітного потоку у ньому, при зміні зазору з допомогою феромагнітного зубчастого ротора (комутатора). На рисунку 2.29 показана принципова схема магнітоелектричного датчика комутаторного типу.



**Рисунок 2.29 - Принципова схема комутаторного датчика і осцилограма вихідного сигналу**

Напруга визначається за такою формулою:

$$U_{out} = kwn(d\Phi/d\alpha),$$

де k — коефіцієнт, залежить від характеристик магнітного ланцюга; w — кількість витків обмотки; n — частота обертання зубчастого ротора;

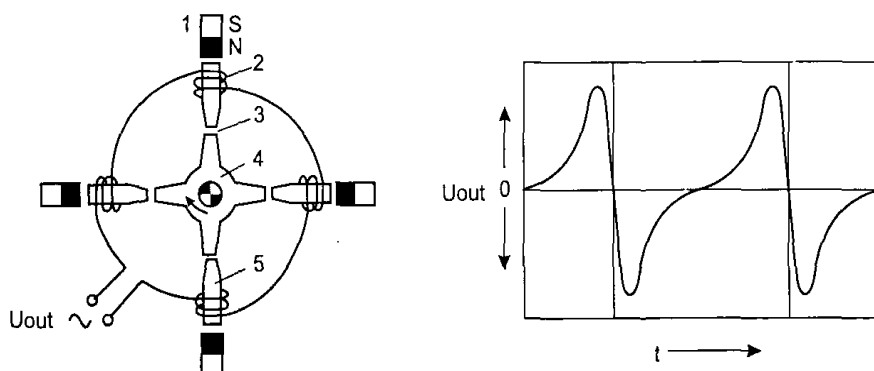
$d\Phi/d\alpha$  — зміна потоку  $\Phi$  залежно від кута повороту  $\alpha$ . Коли зубці ротора 4 наближаються до полюсів 5 статора, в обмотках 2, включених послідовно і узгоджено, зростає напруга U досягає максимуму, потім швидко змінює знак і за видалення зубців збільшується у протилежному напрямі знову до максимуму. Такі датчики ще зараз застосовують у розподільниках запалювання, у яких зубцюватий ротор встановлюється на розподільний вал і виготовляється із м'якої сталі. Кількість зубців залежить від кількості циліндрів двигуна. Необхідне магнітне поле створюють постійні магніти 1. Цікаво зазначити, що в даній симетричній магнітній системі для кожного положення ротора забезпечується усереднене значення зазору 3, за рахунок чого компенсуються похибки виготовлення окремих деталей і биття ротора.

### Датчики на ефекті Холла

Завдяки розвитку мікроелектроніки широкого розповсюдження набули датчики кутового становища на ефекті Холла. Ефект Холла виникає у плоскій напівпровідникової пластині, внесеної в магнітне поле, при пропусненні через неї електричного струму. Якщо помістити табличний елемент завтовшки h в магнітному полі в такий спосіб, щоб напрям індукції B магнітного поля був перпендикулярний площині пластини, і пропустити струм I через пластину в подовжньому напрямі, то поперечному напрямі між протилежними гранями пластини виникне ЕРС Холла;

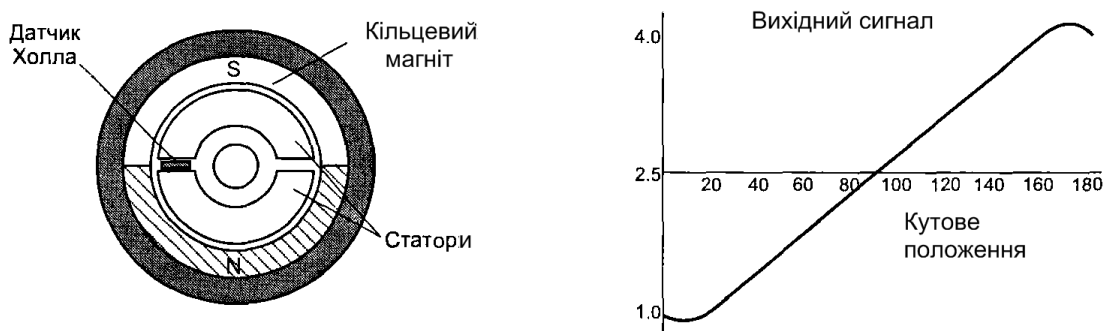
$$E_x = kIB/h,$$

де  $k$  — стала Голла,  $m^2/A$ . Чутливість елемента Холла залежить від співвідношень між довжиною і шириною пластини і підвищується при зменшенні її товщини. Для плівки товщина  $h$  сягає  $10(-6)$  тепені м, для пластини з напівпровідникового кристала —  $10(-4)$  тепені м. Для виготовлення елементів Холла використовуються германій, кремній, арсенід галію (GaAs), арсенід індію (InAs), антимонід індію (InSb).



**Рисунок 2.29 - Принципова схема комутаторного датчика і осцилограма вихідного сигналу**

Електрорухома сила самоіндукції Холла дуже мала і повинна бути посиленою поблизу кристала для того, щоб негайно усунути вплив електромагнітних перешкод. Конструктивно елемент Холла і перетворювальна схема, яка містить підсилювач, граничний елемент, вихідний каскад і стабілізатор напруги, виробляються як інтегральна мікросхема, яка називається магнітокеруючою інтегральною схемою. У таких датчиках немає тертьових частин, крім підшипників, вони безінерційні і мають високу надійність.



**Рисунок 2.30 - Датчик абсолютного кутового положення з чутливим елементом Холла**

Проте вартість аналогових датчиків Холла висока, крім цього, на їх чутливість впливає температура (порядок  $0,001/^\circ C$ ). Вартість — дуже суттєвий чинник для автомобільних датчиків, тому у датчиках Холла застосовуються дешевші магнітні матеріали з низькою температурною стабільністю: ферити і сплави  $AlNiCo$  ( $0,002...0,02/^\circ C$ ). Доводиться вводити зовнішні компенсуючі елементи, програмувати характеристики датчика через інтерфейс.

### **Сельсинні і диференціальні трансформатори**

В якості датчиків абсолютного кутового становища на автомобілях починають застосовувати крутящі трансформатори (сельсини). Раніше вони вважалися занадто дорогими. Сельсини характеризуються високою роздільною здатністю (до  $7'$ ),

працюють у важких зовнішніх умовах. Обмотки збудження заряджаються напругою із частотою 400...20000 гц, зазвичай для автомобілів 2...5 кГц.

Кутове становище ротора декодується за сигналами синусною і косинусною обмотками спеціальною мікросхемою у цифровий код (R-D — convertor). В якості датчиків абсолютного лінійного положення знаходять застосування лінійні диференціальні трансформатори. Вихідний сигнал може бути декодований спеціалізовану ІС.

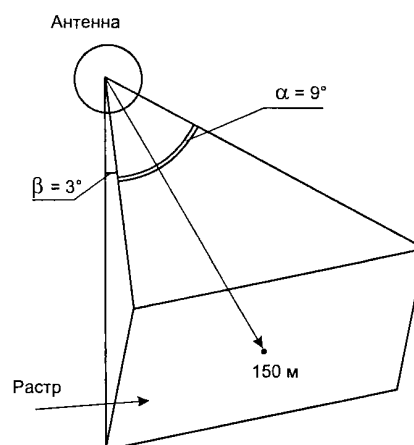
### **Магніторезистивні датчики**

У магніторезистивних датчиках використовується здатність окремих матеріалів, наприклад, сплаву FeNi, змінювати свій опір під впливом зміни напруженості магнітного поля. Такі датчики, як і датчики Холла, безінерційні, також можуть працювати на нульовій частоті. У робочому діапазоні магніторезистора його опір змінюється у межах 2,5% по квадратичного закону функції косинуса. Магніторезистори вбудовують в інтегральну схему, де розміщують й ланцюги обробки сигналу. Є також магніторезистор з більшою чутливістю: 4... 15%.

## **2.7. Радарні та інші спеціальні датчики Антена**

### **2.7.1 Радарні і ультразвукові датчики**

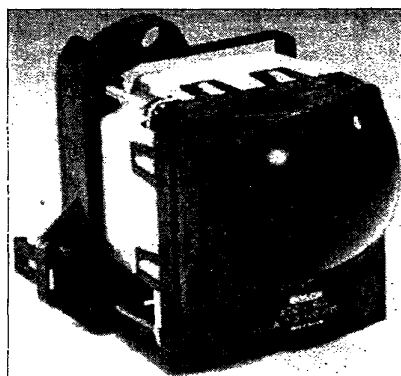
Автомобільні радарні датчики працюють на надвисоких радіочастотах в діапазоні 20...100 ГГц. Для визначення швидкості зближення автомобіля з фронтальною перешкодою на дорозі використовується ефект Доплера. Акселерометри використовують у системах безпеки, ABS, навігаційних системах, активній підвісці. Ще у 1969 року фірма Lukas встановлювала експериментальний доплеровський радіорадар з несучою частотою 24 ГГц на автомобілі Ford Zodiac щоб одержати інформацію про швидкість зближення і відстань до об'єкта перед автомобілем. На поворотах такий радар часто давав хибні сигнали тривоги, коли дерева і дорожні знаки відбивали сигнал випромінювача. У середовищі сучасних радірадарних систем ця проблема вирішується з допомогою складної цифрової обробки сигналу значного підвищення частоти випромінювання (в Європі— це 77 ГГц), що дає більш високий дозвіл підвищує стійкість перед перешкодами. У радіовипромінювачі використовується скануюча антена і три нерухомих антени, змонтовані під переднім пластиковим бампером. Такі антени посилають вперед радіовипромінювання з розміром растра 3x9(рисунок 2.31)



**Рисунок 2.31 Растр Радіовипромінювача**

Радіосигнали відбиваються з інших автомобілів, нерухомих перешкод й обробляються в ЕБУ приблизно 20 разів у секунду з урахуванням власної швидкості автомобіля й положення керма. Радар дає інформацію про фронтальні перешкоди перед автомобілем, об'єкти обіччі (дерева і дорожні знаки) не викликають хибних спрацювань.

Сучасні радарні системи виявляють перешкоди з відривом до 150 метрів, визначають відстань до об'єкта з точністю до 1 метра й швидкість зближення з точністю до 1 км/год. Інформація про перепони вступає у ЕБУ, який через виконавчий механізм управляє спеціальною дросельною заслінкою, не зв'язаною з педаллю водія, підтримується безпечна швидкість зближення. Що стосується можливого зіткнення ЕБУ використовує средства звукового і візуального попередження. На рисунку 2.32 представлений радарний датчик АСС для адаптивного круїз-контроля фірми BOSCH. У блоці розміщені приймально передаюча антена діаметром 75 мм, радіорадар з модуляцією частоти, контролер.



**Рисунок 2.32 - Радіорадарний датчик**

Крім радіорадарних датчиків вже застосовуються ультразвукові датчики зближення. Ультразвукові датчики випромінюють цілеспрямовані звукові хвилі на частоті 40 кГц. Для визначення швидкості зближення і відстані до виявлених по відбитому сигналу об'єктів тут, як й у радіорадарі, використовується ефект Доплера. Швидкість поширення звуковий хвилі (340 м/с при 15 °С) залежить від властивостей атмосфери.

### **2.7.2 Датчики прискорення (акселерометр)**

Деякі твердо тільні матеріали мають електричну чутливість до механічних впливів. Такі матеріали часто йдуть на перетворення механічних величин в електричні. На основі створюються п'єзоелектричні і тензорезистивні акселерометри, які у автомобільних електронних системах використовують як датчики прискорення.

#### **П'єзоелектричні акселерометри**

Цей тип датчиків прискорення широко використовується для вібраційних вимірів, та як вони точні, надійні й прості. На рисунку 2.33 показана базова конструкція акселерометра, яка у компресійному режимі. Чутливість автомобільних акселерометрів становить близько 20 мВ/г. При деформації (стисканні) пьезокристалла на його гранях з'являється електричний сигнал, пропорційний прискоренню. Робочий діапазон частоти 5... 100000 гц. Для обробки сигналу від п'єзоелектричного датчика використовується електронний підсилювач-формував, зібраний за схемою рисунка 2.34. П'єзоелектричні акселерометри мають малі розміри і випускаються в інтегральному виконанні. Після вжитих заходів щодо термокомпенсації ці датчики прискорення мають похибк не гірше 0,5% в температурному діапазоні -40...+ 110 °С.

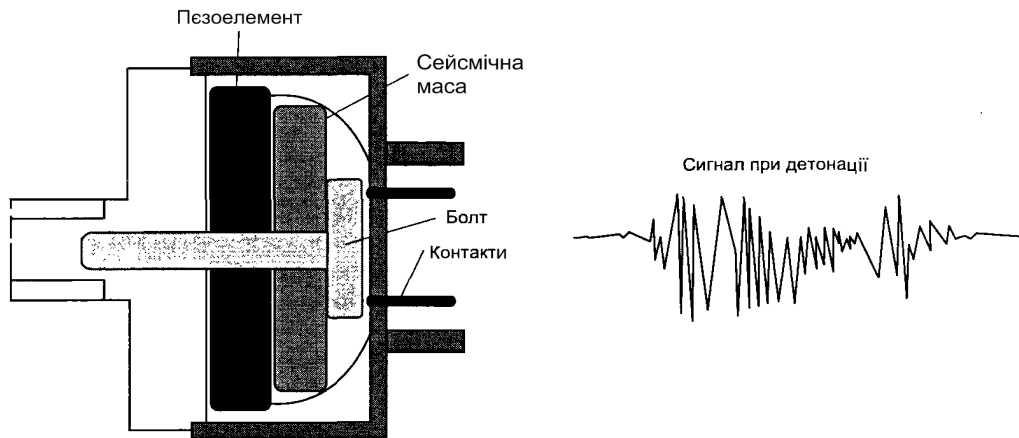


Рис. 2.33. Базова конструкція акселерометра

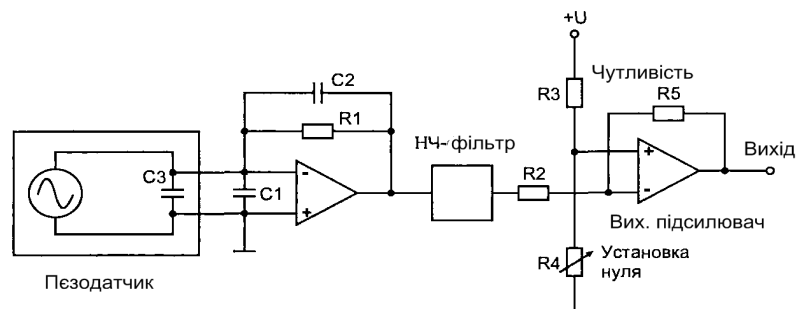


Рисунок 2.34 - Схема підсилювача-формувача для обробки сигналу п'єзоелектричного акселерометра

### Акселерометри для повітряних мішків безпеки

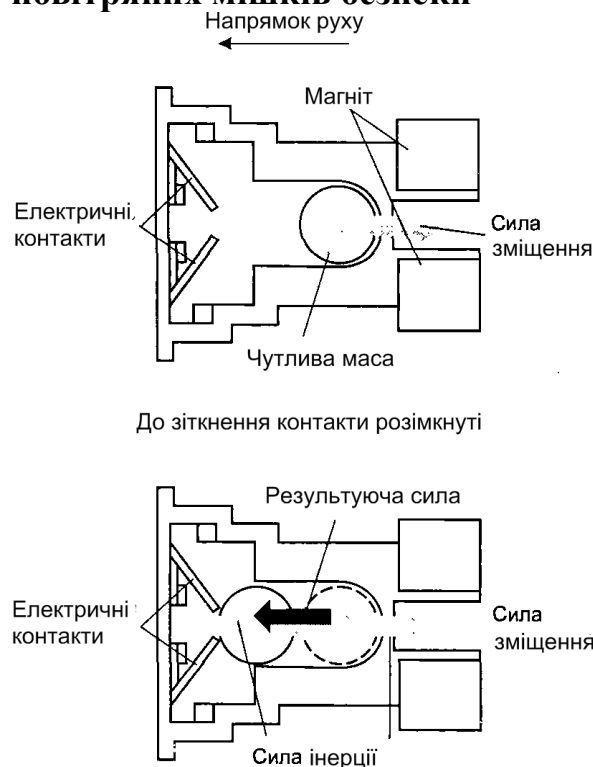


Рисунок 2.35 - Акселерометр з їх постійним магнітом

Ці акселерометри є механічними датчиками інерційного типу. Такі датчики повинні розташовуватися не більше 40см від місця удару. Використовуються зазвичай 3—5 датчиків. Конкретне виконання інерційних датчиків вибирається виробником

системи безпеки, але вони працюють на одному й тому принципі. Ця механічна конструкція (рисунок 2.35) складається з чутливої маси (металевої кулі), яка надійно тримається в задній частині невеликого циліндра потужним постійним магнітом. Під час звичайної їзди вихідні електричні контакти датчика розімкнуті.

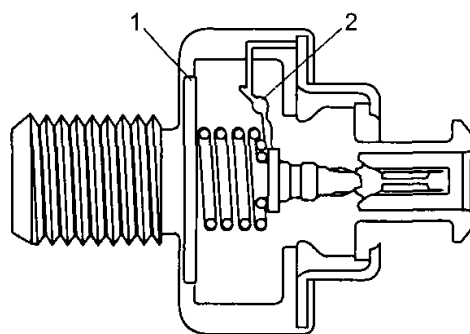
Зіткнувшись сила інерції металевої кулі долає тяжіння магніту, куля котиться по циліндру уперед і замикає контакти, сигнал вступає у ЕБУ. Динамічні характеристики механічних акселерометрів описуються диференціальним рівнянням 2-го порядку. Такі параметри, як жорсткість пружини, маса кульки, сила тяжіння магніту, зменшення тощо, повинні бути пов'язані з динамікою автомобіля під час удару. Ці параметри підбирають під конкретну модель автомобіля з урахуванням його ваги, конструкції корпусу, місця розташування датчика.

### Спеціальні акселерометри

Останнім часом почали застосовувати інтегральні акселерометри з урахуванням напівпровідникових чи п'єзоелектричних тензорезисторів. Вони малогабаритні, надійніші, програмуються, їх характеристики відтворювані з вищою точністю. Інтегральні датчики розташовуються приблизно в центрі салону. Їх чутливість до ударному прискорення вища, ніж в механічних, через амортизацію корпусу. Використовується один датчик для фронтального удару з діапазоном  $\pm 50$  g. Можуть застосовуватися датчики бічних ударів, пьезорезистивні чи ємнісні. Похибка менш 5%, частотний діапазон 0...750 гц. Акселерометри використовуються й у активній підвісці для визначення зміни навантаження на колеса. Робочий діапазон  $\pm 2$  g, похибка менш 5%, діапазон частот 0...10 гц. У деяких недорогих системах ABS використовуються акселерометри визначення граничних значень прискорення, у яких можливе проскользявання коліс. Робочий діапазон  $\pm 1$ g, похибка менш 5%, діапазон частот 0,5...50 гц.

### 2.7.3 Датчик детонації

На рисунку 2.36 схематично показаний датчик детонації. Датчик виконано в такий спосіб, що його резонансна частота збігається з частотою детонації двигуна (зазвичай, у діапазоні 6...12 кГц). Датчик закріплюється на блоці циліндрів реагує навіть на слабку детонацію. За появи детонації вібрація двигуна призводить до генерації сигналу на виході датчика (рисунок 2.37). ЕБУ двигуна фільтрує сигнал з датчика детонації, виробляє аналого-цифрове перетворення. Після моменту запалювання виробляється порівняння сигналу з датчика детонації з заданим рівнем (рисунок 2.38).



2.36 - Датчик детонації.

- 1 — п'єзоелемент,
- 2 — шунтируючий резистор

При виявленні детонації ЕБУ зменшує кут випередження запалювання у всіх циліндрах або тільки в одному. При виході датчика детонації з експлуатації ЕБУ встановлює дещо менше безпечне значення кута випередження запалювання. При зникненні детонації ЕБУ починає поступово збільшувати кут випередження запалювання до появи детонації знову тощо. Отже ЕБУ з допомогою датчика детонації утримує двигун в ефективному режимі роботи на межі детонації, але без небезпеки поломки і виходу з експлуатації.

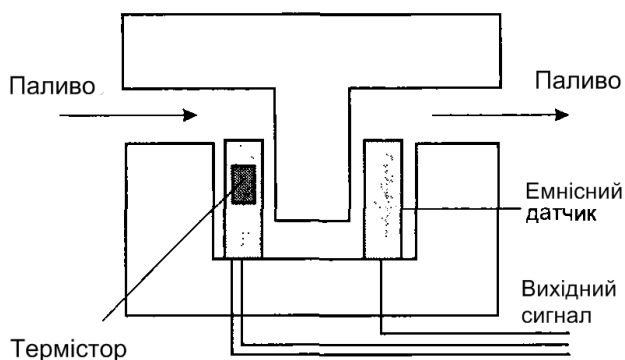


**Рисунок 2.37 Вихідний сигнал датчика детонації**

**Рисунок 2.38 Визначення детонації**

#### 2.7.4 Датчик змісту метанолу в паливі

Для зменшення змісту токсичних речовин, у вихлопних газах автомобіля можливе використання змішаних палив. Передбачається, що бажаний позитивний ефект може дати додавання метанолу (метилового спирту) до бензину. Проблема в тому, що з підтримки стехіометричного складу бензинової і основної(метанолової) ТВ-суміші потрібна різна кількість повітря. ЕБУ двигуна повинен працювати з обома цими сумішами та їхньою комбінацією у різних пропорціях. І тут необхідний датчик, здатний визначити відсотковий вміст метанолу в паливі. Один з варіантів реалізації датчика метанолу показаний на рисунку 2.39. Зміст метанолу палива тут визначається по електричній ємності, при цьому враховується температура палива й його електричний опір.



**Рисунок 2.39 Датчик метанолу**



### 2.7.5 Датчики стану електричних ланцюгів

Стан електричних ланцюгів сучасного автомобіля постійно контролюється ЕБУ. Датчиками стану є, зазвичай, резистивні шунти і розподільники напруги, обмотки струмових реле. Наприклад, щоб можна було розрізнити закритий й відкритий стан ключа від несправностей в провідниках, у його ланцюг запроваджені додаткові резистори (рисунок 2.40). На схемі справної проводки відповідає опір  $R1 = 1 \text{ кОм}$  при розімкненому ключі і  $R2 = 39 \text{ Ом}$  при замкнутому. Будь-які інші значення ЕБУ сприйме як свідчення несправності датчика і занесе в пам'ять відповідний код помилки. На рисунку 2.41 показана схема контролю справності лампи в фари.

Справності лампи в фари.

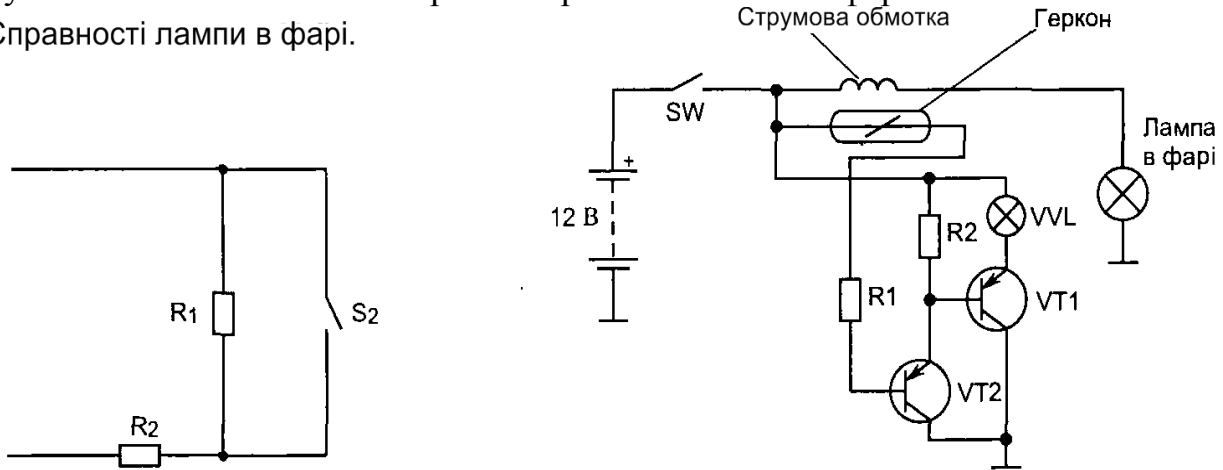


Рисунок 2.40 - Схема контролю стану електричного ланцюга

Рисунок 2.41 - Схема контролю справності ланцюга лампи

### 2.7.6 Інтеграція датчиків

Є тенденція інтеграції автомобільних датчиків і збільшення їх можливостей переробці інформації. За рівнем інтеграції (рисунок 2.42) датчики умовно поділяються на такі рівні

- Звичайний нульовий рівень. Аналоговий сигнал з датчика передається лінією зв'язку (дротах) в ЕБУ, де й виробляється уся необхідна обробка. Такий метод найменш перешкодозахищений.
- Рівень інтеграції 1. У датчик включені ланцюги попередньої аналогової обробки сигналу, поліпшено перешкодозахищеність.
- Рівень інтеграції 2. У датчик крім аналогової обробки сигналу вмонтований аналого-цифровий перетворювач. Датчик може бути підключений до цифрової комунікаційної шини, наприклад CAN, поліпшена перешкодозахищеність, сигнал датчика стає доступним локальній мережі контролерів.

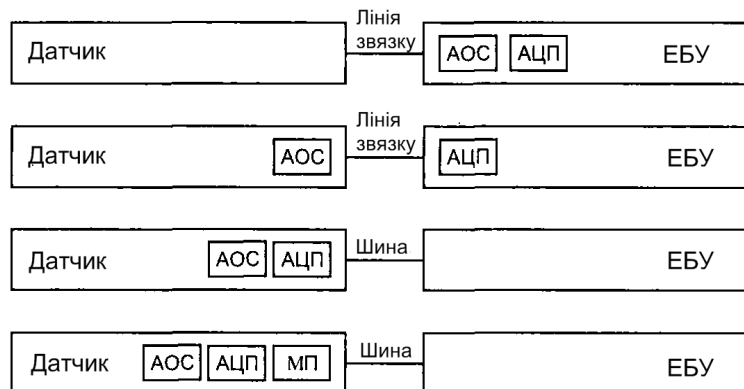


Рисунок 2.42 - Інтеграція датчиків.

## **Тема 3 Електронне управління автомобільним двигуном**

- 3.1 Необхідність електронного управління автомобільним двигуном
  - 3.1.1 Зменшення забруднення навколишнього середовища вихлопними газами
  - 3.1.2 Екологія бензинових двигунів
  - 3.1.3 Каталітичний газонейтралізатор
  - 3.1.4 Кут випередження запалювання
  - 3.1.5 Екологія дизельних л живильників
  - 3.1.6 Зменшення споживання палива
  - 3.1.7 Діагностика
- 3.2 Функції електронних систем управління бензиновим двигуном
  - 3.2.1 Визначення необхідної кількості палива
  - 3.2.2 Управління по сигналу датчика кисню
  - 3.2.3 Управління кутом випередження запалювання
- 3.3 Режими роботи системи управління двигуном
  - 3.3.1 Запуск двигуна
  - 3.3.2 Прогрівання двигуна
  - 3.3.3 Робота в перехідних режимах
  - 3.3.4 Повне навантаження
  - 3.3.5 Робота па холостих обертах
- 3.4 Системи подачі палива
  - 3.4.1 Класифікація систем
  - 3.4.2 Карбюратор з електронним управлінням
  - 3.4.3 Системи з центральним уприскуванням палива
  - 3.4.4 Системи з розподіленим уприскуванням палива
- 3.5 Системи електроіскрового запалювання
- 3.6 Комплексні системи управління двигуном
- 3.7 Діагностичні функції системи управління двигуном
  - 3.7.1 Основні відомості про стандарт OBD-II
  - 3.7.2 Структура програмного забезпечення систем OBD-II
  - 3.7.3 Монітор каталітичного нейтралізатора
  - 3.7.4 Монітор датчиків кисню
  - 3.7.5 Монітор пропусків у системі запалювання
  - 3.7.6 Монітор паливної системи
  - 3.7.7 Монітор системи уловлювання парів бензину
  - 3.7.8 Монітор системи рециркуляції вихлопних газів
  - 3.7.9 Монітор інжекції вторинного повітря (AIR-monitor) в каталітичний нейтралізатор

### **3.1 Необхідність електронного управління автомобільним двигуном**

Електронна система автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д) складається з датчиків для постійного контролю над його параметрами і параметрами довкілля, електронного блоку управління (ЕБУ) з урахуванням мікропроцесора і виконавчих пристроїв, за допомогою яких ЕБУ управляє двигуном по закладених у його пам'яті програмах і згідно з туристичною інформацією від датчиків [3].

Електронне урядування необхідне для задоволення високих вимог по

екологічності, паливної економічності, експлуатаційним характеристикам, зручності обслуговування і діагностики, що ставляться перед сучасними автомобільними двигунами законодавчо, і споживачами.

### **3.1.1 Зменшення забруднення довкілля вихлопними газами**

У вихлопних газах містяться залишки вуглеводневого палива (СН), окис вуглецю (СО), двоокис вуглецю (СО<sub>2</sub>), закиси азоту NO, азот (N) і кисень (O<sub>2</sub>). Зміст вуглеводнів вимірюється у частинах на мільйон за обсягом (PPM чи млн.<sup>-1</sup>). Нормально працюючий двигун спалює в циліндрах майже всі паливо. Дозволений вміст СН має бути менше 50 PPM. Бензин є канцерогеном.

Окис вуглецю — нестійка хімічна сполука, легко вступаюча в реакцію з киснем, у яких утворюється двоокис вуглецю СО<sub>2</sub>. СО — отрутний газ, беручи у легенях людини реакцію з киснем, викликає сильне отруєння (може бути летальний кінець). Рівень СО в вихлопних газах вимірюється у відсотках і повинна не перевищувати 0,5%.

Двоокис вуглецю СО<sub>2</sub> — результат сполуки вуглецю з палива з киснем повітря. Дозволене зміст 12... 15%. Високі значення свідчить про хорошу роботу двигуна. Низький рівень СО<sub>2</sub> свідчить, що паливо-повітряна суміш (ПП-суміш) багата чи бідна. Підвищення концентрації СО<sub>2</sub> у атмосфері сприяє розвитку парникового ефекту.

Кисень — в повітрі його 21% і більша частина його входить у реакцію з паливом. Рівень кисню в вихлопних газах має бути низьким, менше 0,5%.

У камері згоряння двигуна утворюється група закисів азоту, для стислості які будемо позначати NO<sub>x</sub>. Окис азоту NO — безбарвний газ без смаку і запаху.

Двоокис азоту NO<sub>2</sub> — рудуватий газ з кислим їдким запахом, слабо токсичний.

Закиси азоту NO<sub>x</sub> формуються в камері згоряння двигуна за температури понад 1370 °С (2500 °F) або при великому тиску. При поєднанні окислів азоту з вуглеводнем СН у атмосфері під впливом сонячних променів утворюється фотохімічний смог, шкідливий для органів дихання людини.

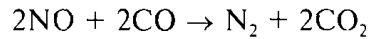
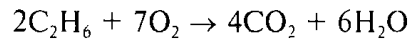
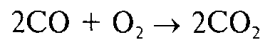
### **3.1.2 Екологія бензинових двигунів**

На роботу бензинового двигуна дуже впливає співвідношення між масою повітря і палива в займистій суміші.

У ідеальному разі при повному спалюванні 1 кг (1 л) бензину на 14,7 кг (10 м<sup>3</sup>) повітря утворюються нетоксичні речовини — вода і двоокис вуглецю. Співвідношення між масою повітря і палива, однакове 14,7:1, називається стехіометричним. Якість ПП-суміші визначається коефіцієнтом надлишку повітря  $\lambda$ , що дорівнює відношенню фактичного складу ПП-суміші до її стехіометричного складу. Повне згоряння палива в циліндрах ДВЗ має місце при  $\lambda = 1$ . Але з низки причин навіть при стехіометричному складі ПП-суміші згоряння здійснюється в не в повному обсязі й утворюються токсичні речовини. Згоряння багатую ПП-сумішшю ( $\lambda < 1$ ) призводить до появи надлишкової кількості СО, Н<sub>2</sub> і СН. Бідні ПП-суміші ( $\lambda = 1$ ) згоряють із утворенням NO<sub>x</sub> і призводять до пропусків запалення.

### **3.1.3 Каталітичний газонейтралізатор**

У каталітичному газонейтралізаторі відбуваються хімічні реакції, які зменшують концентрацію токсичних речовин, у вихлопних газах:



У сучасних газонейтралізаторах в якості каталізаторів хімічних реакцій використовуються шляхетні метали, наприклад платина. Для нормальної експлуатації каталітичного газонейтралізатора потрібно підтримку стехіометричного складу ПП-суміші з точністю — менше 1%. Інакше нейтралізатор поступово деградує. Така точність дозування без електронного управління недосяжна. У справному каталітичному нейтралізаторі до 90% токсичних речовин переробляється в нетоксичні.

### 3.1.4 Кут випередження запалювання

Неоптимальні значення кута випередження запалювання призводить до збільшення концентрації СН і NO<sub>x</sub> в вихлопних газах. Точне задання кута випередження запалювання всім режимів роботи двигуна можливе лише за допомогою електронної системи управління [2].

### 3.1.5 Екологія дизельних двигунів

У дизелях паливо впорскується безпосередньо у циліндри і загорається за допомогою розігріву стисненого повітря. У дизелях  $\lambda$  більше одиниці. При оптимальних значеннях  $\lambda = 1,1 \dots 1,2$  в вихлопних газах міститься мінімум сажі, СН й СО. На дизелях працюють двохкомпонентні окисні каталітичні нейтралізатори, змінюють СН й СО в СО<sub>2</sub> і Н<sub>2</sub>О. Застосування трьохкомпонентного каталітичного нейтралізатора неможливо через надлишок повітря. На процес згорання палива дуже впливає точність синхронізації його впорскування. Наприклад, похибка початку впорскування в 1° обороту колінчатого валу веде до підвищення вмісту у вихлопних газах NO<sub>x</sub> на 5% і СН на 15%.

Для зменшення концентрації NO<sub>x</sub> на дизелях, як і на бензинових двигунах, застосовується система рециркуляції вихлопних газів.

### 3.1.6 Зменшення споживання палива

Економія палива в двигунах з електронним управлінням досягається з допомогою його точного дозування переважають у всіх режимах праці та відключення подачі палива, коли це припустимо, наприклад, під час гальмування двигуном. Збіднення займистої ПП-суміші із єдиною метою економії палива призводить до необхідності збільшувати кут випередження запалювання, так як бідна суміш горить повільно, та заодно зростає токсичність вихлопних газів. Управління кутом випередження запалювання здійснюється електронною автоматикою шляхом компромісу між кількістю споживаного палива й змістом токсичних речовин, у вихлопних газах за складними алгоритмами.

### 3.1.7 Діагностика

ЕБУ в фоновому режимі постійно контролює справність підключених до комп'ютера датчиків і виконавчих механізмів, і навіть справність систем, вихід із ладу яких веде до підвищення забруднення довкілля (каталітичний газонейтралізатор, система подачі палива й т.д.) [4].

## 3.2 Функції електронних систем управління бензиновим двигуном

### 3.2.1 Визначення необхідної кількості палива

Маса подаваного в двигун палива  $F_M$  пов'язана з масою повітря  $A_M$  і потрібним значенням коефіцієнта надлишку повітря  $\lambda$  співвідношенням (37):

$$F_M = \frac{A_M}{\lambda \cdot 14,7}$$

Маса повітря може бути виражена через його обсяг  $A_V$ , і щільність  $A_D$ .

$$A_M = A_V \cdot A_D$$

Щільність повітря  $A_D$  визначається по його тиску і температурі у впускному колекторі з допомогою відповідних датчиків. У найпростішому разі обсяг повітря  $A_{VRPM}$  розраховується за числом оборотів двигуна на хвилину  $N$ :

$$A_{VRPM} = \frac{N}{60} \cdot \frac{D}{2} \cdot V_E,$$

де  $D$  — об'єм двигуна,  $V_L$  — коефіцієнт використання об'єму, залежить від оборотів.

Якщо в двигуні застосовується рециркуляція вихлопних газів, їх обсяг  $A_{VEGR}$  також враховується:

$$A_V = A_{VRPM} - A_{VEGR}$$

Обсяг  $A_{VEGR}$  залежить від положення клапана системи рециркуляції вихлопних газів. У датчиках витрати повітря з вимірювальною заслінкою по відхиленню заслінки визначають безпосередньо обсяг повітря  $A_V$ . Обсяг вихлопних газів  $A_{VEGR}$ , якщо вони подаються у камеру згоряння, системою рециркуляції враховувати непотрібно. Для визначення щільності повітря у впускному колекторі встановлюються датчики температури і тиску.

У сучасних системах управління двигунами встановлюються, зазвичай, датчики масової витрати повітря.

Визначивши необхідну масу палива  $F_M$ , контролер по відомій продуктивності форсунки обчислює їм базові значення часу включення. Щоб маса подаваного через форсунки палива залежала тільки від тривалості їхнього вмикання, в рампі форсунок щодо впускного колектора спеціальним регулятором підтримується постійний тиск палива.

У двигунах з розподіленим упорскуванням залежно від складності й досконалості системи управління подача палива йде наступним чином:

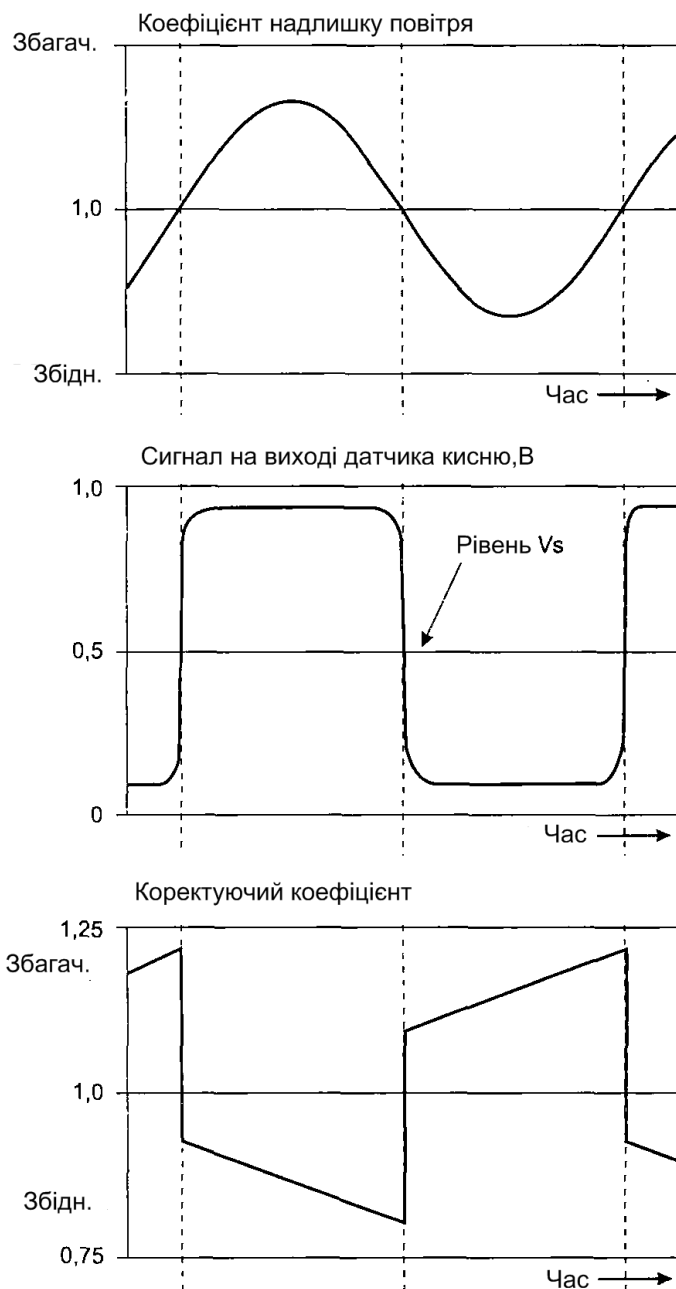
- всі форсунки включаються одночасно одного разу за оборот колінчатого валу;
- форсунки включаються групами, наприклад, парами для 4-циліндрового двигуна, одного разу за 4 такти. Групи управляються роздільно;
- форсунки управляються незалежно, тобто, подача палива на відповідному такті впуску ПП-суміші у кожний циліндр регулюється індивідуально.

### 3.2.2 Управління з сигналу датчика кисню

Сигнал з датчика кисню поступає у ЕБУ двигуна, де порівнюється зі опорним напругою  $V_S = 0,45$  В. Ця напруга перебуває посередині між рівнем сигналів для збідненого і збагаченої ПП-суміші для цирконієвого датчика.

Коли сигнал з датчика кисню перевищує опорний рівень, програмне забезпечення ЕБУ двигуна визначає робочу ПП-суміш як збагачену і ЕБУ починає поступово

зменшувати тривалість імпульсу відмикання форсунки. Датчик реагує на зміну складу паливо-повітряної суміші із певною затримкою. І чим довше датчик кисню реєструє збагачений склад ПП-суміші, тим більше зменшується тривалість імпульсу відмикання форсунок і тим біднішою стає ПП-суміші. В результаті таких дій вихідний сигнал датчика кисню перейде до рівня нижче опорного і ЕБУ зафіксує збіднений склад суміші. Отже, склад ПП-суміші постійно коливатиметься між збідненим і збагаченим станами навіть при роботі справного датчика кисню при постійно навантаженому двигуні (рисунок 3.1). У даному випадку має місце релейна стабілізація при коливаннях по граничному циклу.



**Рисунок 3.1 - Сигнали у системі стабілізації стехіометричного складу ПП-суміші**

Частота переключень сигналів датчика (збіднений склад суміші — Збагачений склад суміші) визначається за такою формулою:

$$f = 1/4t_L,$$

де  $t_1$  — час, протягом якого паливо проходить шлях від форсунки впорскування, через впускний колектор, циліндр і випускний колектор до датчика кисню. Більшість двигунів під час роботи на холостому ході частота  $f$  буде в діапазоні 0,5...2,0 Гц. У новітніх ДВЗ — до 10 Гц.

Зазначимо, що це релейна система стабілізації підтримує стехіометричний склад ПП-суміші з похибкою 1...5%. Каталітичний газонейтралізатор має робочий обсяг для вихлопних газів, виконує функцію ресивера, демпфіруючого коливання у складі відпрацьованих газів.

### **3.2.3 Управління кутом випередження запалювання**

Правильна установка поточного значення кута випередження запалювання оптимізує крутний момент по валу двигуна, мінімізує зміст токсичних речовин, у вихлопних газах, зменшує витрати, покращує їздові характеристики, виключає детонацію. Базові значення визначення кута випередження запалювання залежно від навантаження і зворотів двигуна закладено у постійній пам'яті контролера. Їх отримують під час експериментальних досліджень знову розроблюваного двигуна на стендовому динамометрі. Базові значення коригуються залежно від режиму роботи двигуна: перегрів, прискорення, включення системи рециркуляції вихлопних газів тощо.

## **3.3 Режими роботи системи управління двигуном**

### **3.3.1 Запуск двигуна**

Двигун при прокручуванні стартером повинен швидко запускатися за будь-якої температури охолоджувача і зовнішнього середовища. При пуску паливо подають із надлишком (багата ПП-суміші), так як воно погано випаровується в холодному двигуні і вони конденсуються на стінках впускного колектора. Але свічки запалювання заливатися не повинні, інакше іскроутворення погіршиться.

Під час запуску ЕБУ управляє подачею палива по калібрувальним діаграмам, що зберігається у постійної пам'яті, і коректують склад ПП-суміші по температурі охолоджувальної рідини. Датчик кисню тим часом ще не працює, бо не прогрітий, а ПП-суміші перенасичена. Кількість подаваного палива починає зменшуватися, коли швидкість обертання колінчатого валу перевищить граничне значення для такого типу двигуна. У деяких системах управління при прокручуванні ДВЗ всі форсунки відкриваються одночасно й тільки після запуску починають працювати одночасно з тактами впуску своїх циліндрів.

Кут випередження запалювання при прокручуванні визначається ЕБУ по обортам і температурі двигуна. Для холодного двигуна і низької швидкості прокручування кут випередження запалювання майже нульовий. У будь-якому разі при прокручуванні ДВЗ значення кута випередження запалювання обмежується, так як спалах в камері згоряння до верхньої мертвої точки може повернути колінчатий вал у протилежному напрямі і пошкодити стартер.

### **3.3.2 Прогрівання двигуна**

Відразу після запуску холодного ДВЗ під час його прогріву систему управління двигуном мають забезпечувати:

- сталу роботу двигуна;

- швидке нагрівання датчика кисню і каталітичного нейтралізатора, запровадження їх у робочий стан;
- мінімальне споживання палива й забруднення довкілля.

Для сталої роботи холодного двигуна до нього подається збагачена ПП-суміші. Ступінь збагачення залежить від температури двигуна і всмоктуваного повітря. У деяких системах під час прогріву в каталітичний газонейтралізатор подається додатковий повітря. Виниклі в циліндрах надлишки СО і СН (через збагачену ПП-суміші) доокислюються в каталітичному нейтралізаторі. Хімічна реакція окислення прискорює розігрів нейтралізатора.

У другому варіанті під час прогріву двигуна збільшують оберти холостого ходу і зменшують кут випередження запалювання, що підвищує температуру вихлопних газів і прискорює розігрів каталітичного газонейтралізатора і датчика кисню. Застосовується і електричний розігрів датчика кисню і нейтралізатора.

### **3.3.3 Робота в перехідних режимах**

У перехідних режимах, тобто при швидкому збільшенні або зменшенні навантаження чи оборотів ДВЗ, система управління має забезпечувати плавну, сталу роботу двигуна.

При прискоренні автомобіля дросельна заслінка різко відкривається, у впускний колектор надходить більше повітря. Система керування повинна швидко відреагувати, щоб не тільки не допустити збідніння робочої суміші, а й встигнути збагатити її так, щоб двигун штатно відпрацював збільшене навантаження. У цьому не повинено помітно збільшуватися забруднення довкілля вихлопними газами. Задля більшого максимального крутного моменту на валу двигуна кут випередження запалювання встановлюється за межею детонації.

При гальмуванні, їзді під гору, гальмуванні двигуном подача палива різко обмежується чи цілком відключається до того часу, поки оберти двигуна залишаються вище заданого значення (трохи більших оборотів холостого ходу).

Система керування двигуном стежить за тим, щоб за відключенні подачі палива не охолонули й не перейшли у неробочий стан датчик кисню і каталітичний нейтралізатор. Зазвичай це реалізується додатковим електропідігріванням.

### **3.3.4 Повне навантаження**

При їзді автомобіля під повним навантаженням, наприклад під гору, двигун повинен розвивати максимальну потужність. ЕБУ управляє складом ПП-суміші і кутом випередження запалювання по калібрувальним таблицям. Двигун має найкращі тягові характеристики при  $\lambda = 0,9 \dots 0,95$ , у цьому діапазоні датчик кисню не спрацьовує. Кут випередження запалювання має значення, що забезпечує максимальний крутний момент на валу, за необхідності виробляється корекція по детонації. Екологічні показники двигуна дещо погіршуються.

### **3.3.5 Робота на холостих обертах**

У режимі холостого ходу систему управління двигуном з метою економії палива підтримує мінімальні сталі обороти. У міському циклі руху на холостому ходу автомобіль споживає близько 30% палива. Система регулювання холостих оборотів повинна відпрацьовувати як стрибкоподібно, і плавно мінливі навантаження.

Обороти двигуна на холостому ходу автоматично регулюються зміною кількості подаваного повітря, або кута випередження запалювання.



Повітря в режимі холостого ходу зазвичай подається через байпасний канал, перетин якого регулюється кроковим двигуном по командах ЕБУ. Є варіанти, коли кількість подаваного повітря регулюється автоматично керованим електроприводом дросельної заслінки. Недоліком системи управління оборотами холостого ходу шляхом зміни пропускного перерізу повітряного каналу є його інерційність, особливо в стрибкоподібних змінах навантаження. Більш високу швидкість має система, працююча зі зміною кута випередження запалювання в заданих межах. У середовищі сучасних ЕБУ для керування оборотами холостого ходу використовуються обидва ці варіанти управління.

Щоб двигун, працюючий на холостих обертах, не зупинявся при підключенні до нього потужного навантаження (наприклад, компресора кондиціонера), спочатку від вимикача навантаження на ЕБУ надходить сигнал про майбутнє збільшення навантаження, по якому ЕБУ збільшує оберти двигуна, і лише потім включається навантаження.

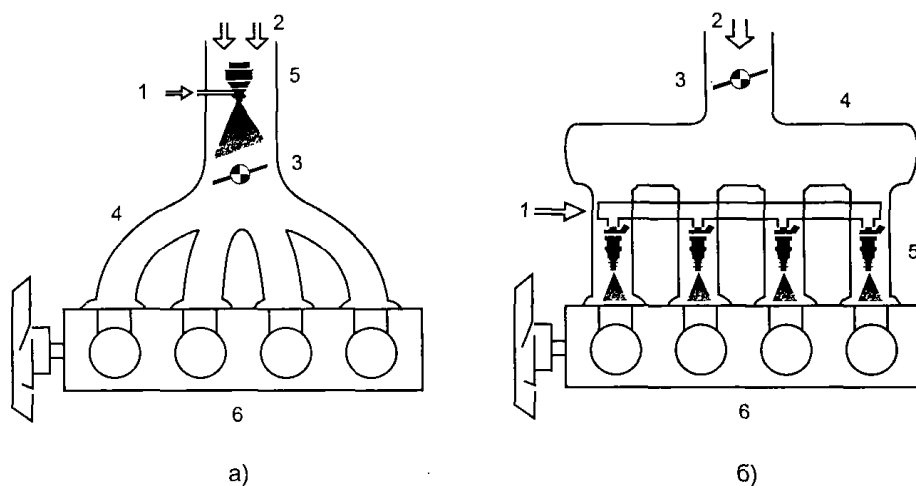
### 3.4 Системи подачі палива

Робота системи подачі палива в циліндри двигуна полягає у формуванні складу ПП-суміші, її дозуванні, транспортуванні й розподілі по циліндрам. Водій управляє оборотами двигуна через дросельну заслінку, яка дозує кількість повітря що надходить до циліндрів.

#### 3.4.1 Класифікація систем

Системи подачі палива бувають *одноточкові* (карбюратор чи центральний впрыск, рисунок 3.2 а), чи *багатоточкові* (розподілений впрыск, рисунок 3.2, б).

У системах з одноточковою подачею палива формування ПП-суміші виробляється поблизу дросельної заслінки. Транспортування і розподіл суміші по циліндрам доручається конструкції патрубків впускного колектора. Задовільною роботою такої системи у всіх режимах домогтися важко.



**Рисунок 3.2 - Патрубки впускного колектора:**

- а — для центрального впорскування; б — для розподіленого впорскування;  
 1 — паливо, 2 — повітря, 3 — дросельна заслінка, 4 — впускний колектор,  
 5 — форсунки, 6 — двигун

У багатоточкових системах подача палива й зовнішнє сумішоутворення виробляється в безпосередній близькості до впускних клапанів. Паливо краще випаровується, мінімізований вплив конструкції впускного колектора на рівномірність розподілу суміші по циліндрам, патрубки впускного колектора транспортують лише

повітря.

### 3.4.2 Карбюратор з електронним управлінням

При використанні найпростішого поплавкового карбюратора, що більше повітря засмоктується в циліндри, то більше палива надходить для утворення ПП-суміші. Основний недостаток такої системи сумішоутворення — нелінійний зв'язок між масою що надходить двигун повітря і кількістю розпиленого палива, тобто не витримується стехіометричний склад ПП-суміші при різних оборотах двигуна. Для компенсації цієї вади доводиться вводити в конструкцію карбюратора електронне керування. Такий карбюратор називають електронним.

Електронний карбюратор дозволяє якісніше реалізувати такі функції:

- стабілізація оборотів холостого ходу. Обороти ДВЗ на холостому ходу постійні з досить низьким рівнем із єдиною метою економії палива й зменшення токсичності вихлопних газів. У цьому двигун не повинен глохнути. Регулювання виробляється кроковим двигуном. Обороти холостого ходу можуть змінитися за сигналом від автоматичної коробки перемикачів передач, від реле включення муфти кондиціонера та іншими сигналами про збільшення навантаження;

- прогрів двигуна. При прогріві двигуна оберти холостого ходу підтримуються збільшеними до того часу, поки відповідний сигнал не поступить від датчика температури охолоджувальної рідини;

- збагачення ПП-суміші при прогріві. Використовується обертова повітряна заслінка чи інший тип клапана для збагачення суміші залежно від режиму роботи двигуна і температури доквілля;

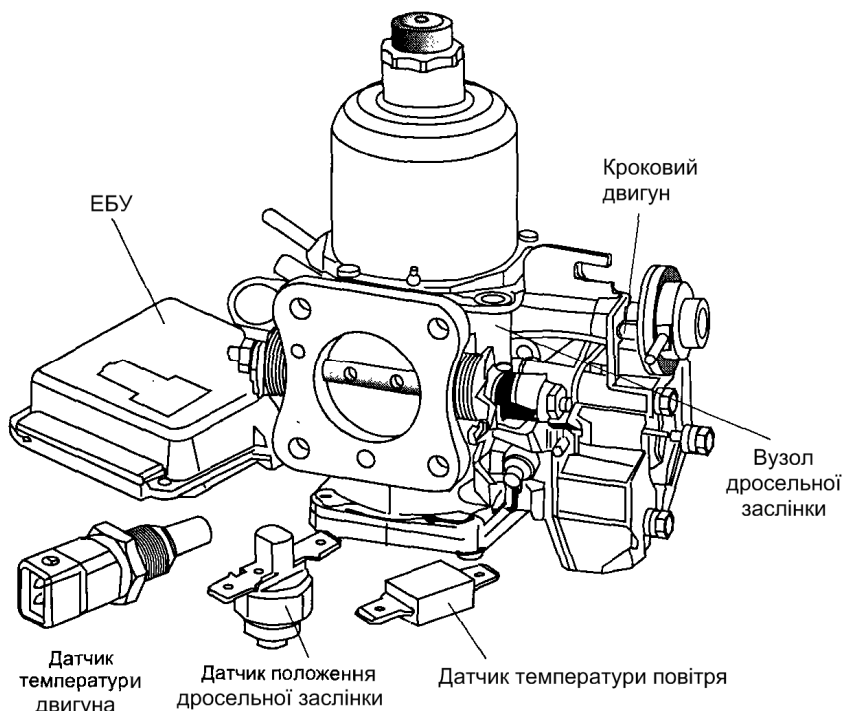
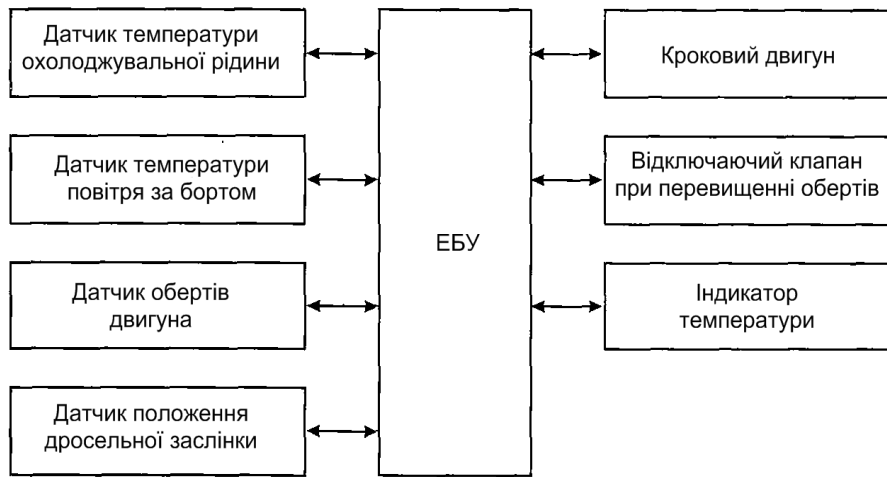


Рисунок 3.3 - Основні компоненти карбюратора з електронним управлінням



**Рисунок 3.4 - Блок-схема системи керування електронним карбюратором**

- відключення подачі палива на великих оборотах двигуна. Для відключення подачі палива використовується замикаючий електроклапан, який спрацьовує, коли температура двигуна вище допустимої норми, чи оберти двигуна вищі допустимого значення при відпущеній педалі акселератора (випадок — гальмування двигуном). З

Зміна складу (якості) ПП-суміші здійснюється в будь-якому карбюраторі механічними засобами і погано піддається електронному управлінню.

На рисунку 3.3 показані основні компоненти карбюратора з електронним управлінням, використовувані на деяких ранніх моделях автомобілів фірми Rover [10]. На рисунку 3.4 показано блок-схема системи управління карбюратором. Як завжди, до системи управління входять набір необхідних датчиків, пристрій обробки інформації, виконавчі механізми.

У такій системі оберти двигуна визначаються за частотою імпульсного сигналу, яке надходить із негативного затискача первинної обмотки котушки запалювання, як і у багатьох інших системах.

Датчик температури охолоджувальної рідини (термістор) розміщений в сорочці водяного охолодження двигуна, той самий датчик використовують у системи управління запалюванням.

Температура навколишнього середовища визначається термістором, розташованим під переднім бампером чи фарою. У пізніх системах температура всмоктуваного повітря вимірюється датчиком, встановленим у впускному колекторі.

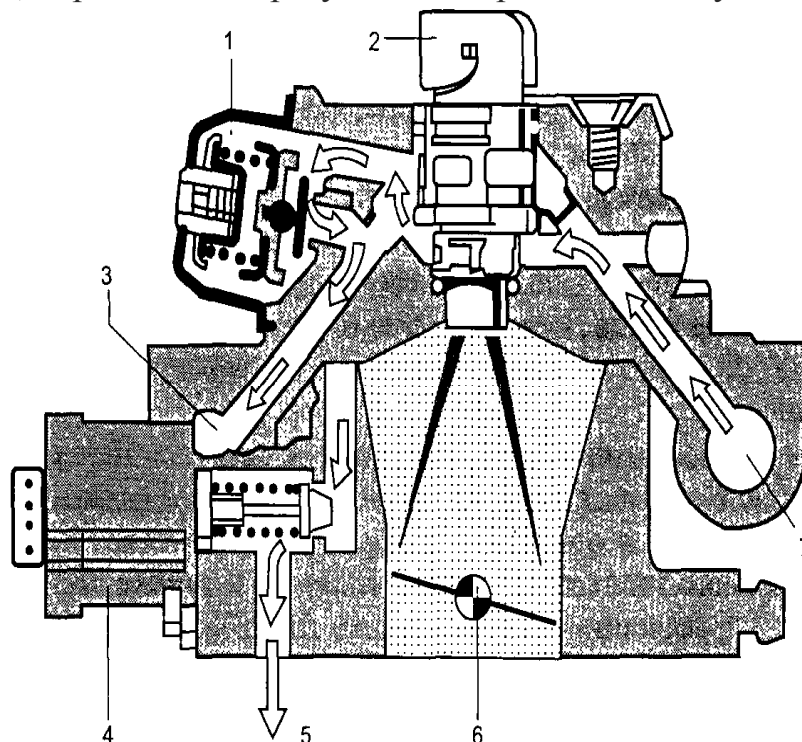
Датчик закритого становища дросельної заслінки поміщений під педалью акселератора і спрацьовує, коли педаль відпущена, тобто дросельна заслінка закрыта.

Основним виконавчим механізмом в електронному карбюраторі є кроковий електродвигун. Кроковий двигун змінює становище дросельної заслінки відповідно з командами, створених в ЕБУ з урахуванням режиму роботи двигуна, температури охолоджувальної рідини і всмоктуваного повітря.

### 3.4.3 Системи з центральним упорскуванням палива

У цих системах використовуються одна чи дві форсунки, встановлені у впускному трубопроводі перед дросельною заслінкою (рисунок 3.5). Електробензонасос постійно прокачує паливо через форсунку 2. Регулятор тиску палива 1 підтримує тиск палива постійним лише на рівні 0,71 бар. Паливо подається через введення 7 і зливається знову в бак по поворотній лінії 3. За командою ЕБУ форсунка включається зазвичай одного

разу протягом двох оборотів колінчастого валу. Сопло сконструйоване так, щоб розпилюване паливо проходило між стінками трубопроводу і краями дросельної заслінки. На холостому ходу ПП-суміші подається у впускний колектор через байпасний канал 5, перетин якого регулюється кроковим двигуном 4.



**Рисунок 3.5 - Форсунка центрального впорскування**

#### **3.4.4 Системи з розподілим упорскуванням палива**

Паливо подається поблизу впускних клапанів кожного циліндра з допомогою механічних чи електромеханічних форсунок. Переваги розподіленого впорскування порівняно з центральними:

- економія палива за рахунок його рівномірного розподілу по циліндрам. У системах з центральним упорскуванням подача палива регулюється під циліндр, який одержує найбільш бідну суміш, внаслідок сумарне споживання палива зростає;
- в системах з розподілим упорскуванням є можливість оптимізувати конструкцію впускного колектора під подачу максимальної кількості повітря, внаслідок - з двигуна знімається велика потужність;
- за рахунок подачі палива у зону впускних клапанів зменшується транспортне запізнення, двигун швидше реагує на зміну становища дросельної заслінки;
- за рахунок скорочення транспортного запізнення, у системі стабілізації стехіометричного складу ПП- суміші за сигналом з датчика кисню підвищена частота переходу «бідна суміш — багата суміш». Це покращує роботу каталітичного нейтралізатора, зменшується вміст токсичних речовин у вихлопних газах.

Невід'ємними частинами сучасних систем подачі палива з переривчастим упорскуванням є:

- датчик масового витрати повітря (масметр), зазвичай термоанемометричний;
- система дозування палива: електробензонасос, паливний фільтр, рампа форсунок, електромагнітні форсунки, регулятор тиску палива. Бензонасос подає паливо в рампу під тиском 250...350 кПа. Регулятор тиску підтримує постійний перепад тиску між впускною трубою і нагнітаючою магістраллю рампи, надлишки палива повертаються

до бензобак по лінії зливу. Соленоїди форсунок управляються силовими транзисторами ЕБУ. У деяких системах є додаткова пускова форсунка, що встановлюється за дросельної заслінкою і включається при холодному пуску двигуна;

- датчик кисню, сигнал якого використовується ЕБУ для роботи в замкнутому режимі стабілізації стехіометричного складу ПП- суміші.

### **3.5. Системи електро-іскрового запалювання**

Призначення системи запалювання — запалення ПП-суміші в камері згоряння двигуна у потрібний час. Іскровий розряд повинен мати енергію, достатню для запалення суміші у всіх робочих режимах, у протилежному випадку відбувається пропуск запалення, неперегорівше паливо може зашкодити датчик кисню і каталітичний нейтралізатор, зросте токсичність вихлопних газів і витрати палива.

Процес горіння робочої суміші в циліндрі триває близько 2 мс і закінчується утворенням сильно розігрітого газоподібного робочого тіла. Необхідно, щоб максимум тиску розігрітих газів у циліндрі мала місце безпосередньо за верхньої мертвої точки поршня. Двигун працює про різних оборотах, отже, доводиться встановлювати кут випередження запалювання залежно від оборотів, щоб пік тиску в циліндрах був при необхідному кутовому становищі колінчастого валу. Велика величина випередження впливає на економічність двигуна, токсичність вихлопних газів, розвиваючи потужність.

Електронна система запалювання містить такі основні компоненти: нагромаджувач енергії (найчастіше індуктивний), пристрій синхронізації моменту запалювання (електронний мікроконтролер), розподільник, свічки запалювання і високовольтні провода.

У електронних системах їх запалювання напруга на свічках перевищує 30 кВ. Енергія для реалізації іскрового розряду накопичується у магнітному полі котушки запалювання. Її первинна обмотка періодично підключається під напругу бортової мережі автомобіля, і, коли струм сягає певної величини, обмотка відключається, а нагромаджена енергія трансформується у вторинну, яка підвищує обмотку котушки запалювання, в коло якої через високовольтний розподільник включені електроіскрові свічки запалювання.

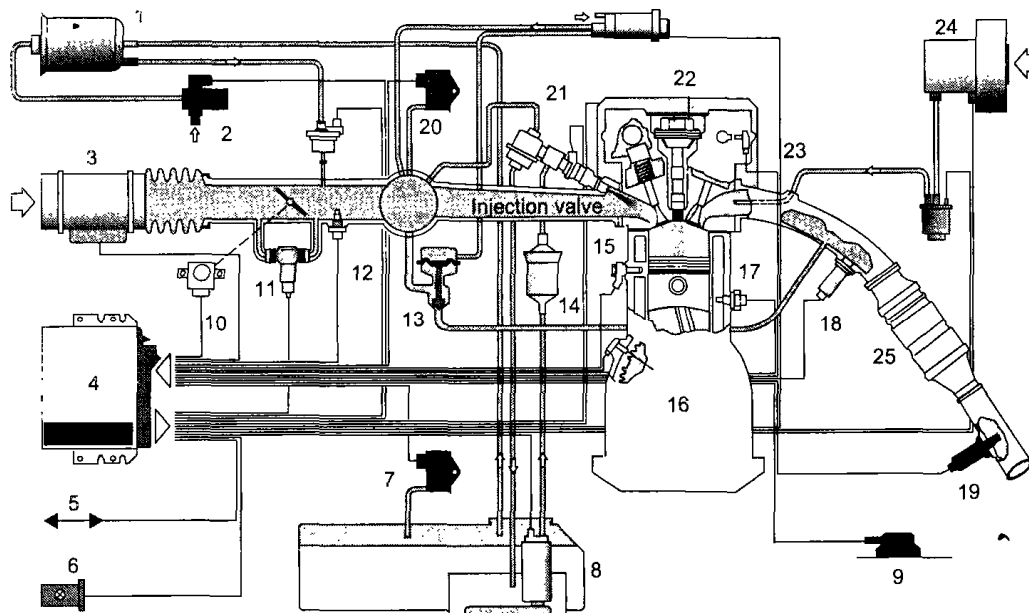
У сучасних багатоканальних електронних системах запалювання розподільник відсутній. Синхронізація і генерація іскри виробляється електронними ланцюгами під керівництвом програми в ЕБУ. Наприклад, у системі запалювання з холостою іскрою двохвиводна вторинна обмотка котушки запалювання підключена до свічок двох циліндрів, робочі процеси у яких зсунуто за фазою на  $360^\circ$ . Тоді, у 4-циліндровому двигуні можна використовувати блок з цих двох двовивідних котушок, в 6-циліндровому — блок із трьох таких самих котушок, при цьому потреба в високовольтному розподільнику відпадає.

Є системи запалювання з накопиченням енергії в електричному полі конденсатора, і потім розряджається через підвищуючий трансформатор на іскровий проміжок свічки запалювання. Застосовуються на високооборотних ДВЗ

### **3.6 Комплексні системи управління двигуном**

Тенденції розвитку бортової автомобільної електроніки такі, які спеціалізовані по виконанню функцій системи управління поршневим бензиновим двигуном, такі як

система запалювання, система впорскування палива, система пуску холодного двигуна, система стабілізації холостих оборотів, система рециркуляції і нейтралізації вихлопних газів й інші, які сьогодні є окремими самостійними системи розробляються обмежено. Їх функції інтегруються на єдину комплексну електронну систему автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д). Як приклад комплексної ЕСАУ-Д на рисунку 3.6 показана схема сучасної системи управління двигуном з переривчастим і розподіленим по циліндрам упорскуванням палива (Motronic M5, Bosch).



**Рисунок 3.6 - Схема системи управління двигуном Motronic M5**

- 1 — адсорбер,
- 2 — клапан продувки адсорбера,
- 3 — датчик масової витрати повітря,
- 4 — ЕБУ,
- 5 — діагностичний інтерфейс,
- 6 — лампа MIL (Check Engine),
- 7 — датчик диференціального тиску парів палива в баку,
- 8 — електробензонасос,
- 9 — акселерометр на корпусі автомобіля,
- 10 — датчик становища дросельної заслінки,
- 11 — регулятор оборотів холостого ходу,
- 12 — датчик температури повітря у впускний трубці.
- 13 — клапан рециркуляції вихлопних газів,
- 14 — паливний фільтр,
- 15 — датчик детонації,
- 16 — датчик становища колінчатого валу,
- 17 — датчик температури охолоджувальної рідини,
- 18 — датчик кисню на вході каталітичного нейтралізатора,
- 19 — датчик кисню на виході каталітичного нейтралізатора,
- 20 — датчик розрідження,
- 21 — регулятор тиску палива й форсунка,
- 22 — індивідуальна котушка запалювання,
- 23 — датчик фаз,

- 24 — насос подачі повітря на каталітичний нейтралізатор,
- 25 — каталітичний нейтралізатор

### **3.7 Діагностичні функції системи управління двигуном**

Будь-яка сучасна мікропроцесорна систему управління має деякі діагностичні можливості. Ці можливості реалізуються контролером відповідно до програми, закладеної у постійній пам'яті, в час, коли мікропроцесор в повному обсязі завантажений виконанням основних управляючих алгоритмів, тобто в фоновому режимі.

Під час звичайної експлуатації автомобіля контролер періодично тестує його електричні і електронні компоненти. При виявленні несправності контролер переходить на аварійний режим роботи, підставляючи в алгоритми підходяще значення параметра замість того, що дає несправний блок. Наприклад, якщо контролер знайде несправність у подальшому ланцюгу датчика температури охолоджувальної рідини, програма встановить значення температури для штатної роботи двигуна (зазвичай 80 °С) і використовуватиме це значення при реалізації управляючих алгоритмів, щоб автомобіль залишався на ходу. Заміщене значення зберігатиметься у пам'яті ЕБУ.

#### **3.7.1 Основні інформацію про стандарті OBD-II**

Програмне забезпечення сучасних автомобільних бортових діагностичних систем відповідає стандарту OBD-II.

Розробка вимог і рекомендацій OBD-II велася під егідою EPA (Environmental Protection Agency — Агенство з охорони навколишнього середовища при владі США), з участю CARB (California Air Resources Board — відділ по охороні довкілля в часи уряду штату Каліфорнія) і SAE (Society of Automotive Engineers — Міжнародне суспільство автомобільних інженерів). OBD-II передбачає точніше управління двигуном, трансмісією, каталітичним нейтралізатором тощо. Доступ до системної інформації ЕБУ можна проводити неспеціалізованими сканерами. З 1996 року всі продавані автомобілі США відповідають потребам OBD-II. У Європі аналогічні документи приймаються традиційно з запізненням стосовно США, тим не менше аналогічні правила набрали чинності з 1 січня 2000 року (EOBD — European On Board Diagnostic).

Підприємства автосервісу виграють від використання стандарту OBD-II, так як процес діагностики електронних систем автомобіля стандартизується і можна і той ж сканер без спеціальних адаптерів використовуватиме тестування автомобілів всіх марок (які продавалися в США починаючи з 1996 року).

Виконання стандарту OBD-II забезпечує:

- стандартний діагностичний роз'єм;
- стандартне розміщення діагностичного роз'єму;
- стандартний протокол обміну даними між сканером і автомобілем;
- стандартний список кодів несправностей;
- збереження у пам'яті ЕБУ кадру значень параметрів у разі появи коду помилки («заморожений» кадр);
- моніторинг бортовими діагностичними засобами компонентів, відмова яких може призвести до підвищення токсичних викидів в довкілля;
- доступ неспеціалізованих сканерів до кодів помилок, параметрів,

«заморожених» кадрів, тестуючих процедур, тощо;

- перелік термінів, скорочень, визначень, що використовуються елементів електронних систем автомобіля.

Обмін інформацією між сканером і автомобілем виробляється відповідно до міжнародного стандарту ISO1941 і стандарту SAE J1850. Стандарт J1979 установлює список кодів помилок, і рекомендовану практику програмних режимів роботи для сканера.

### 3.7.2 Структура програмного забезпечення систем OBD-II

Програмне забезпечення ЕБУ двигуна сучасного автомобіля складне. Діагностика й самотестування в системах OBD-II здійснюється підпрограмою Diagnostic Executive, часто званої просто Executive. Executive з допомогою спеціальних програм — моніторів (emission monitor) контролює до семи різних систем автомобіля, несправність у роботі яких можуть призвести до підвищення забруднення довкілля. Інші датчики і виконавчі механізми, які не ввійшли у ці сім систем, контролюються восьмим монітором (comprehensive component monitor — CCM). Executive працює, в фоновому режимі здійснюючи постійний контроль за устаткуванням з допомогою згаданих програм — моніторів без втручання людини.

Кожен монітор може здійснити тестування під час поїздки, тобто циклу «ключ запалювання включений — двигун працює — ключ виключений» за виконання певних умов. Критерієм, може бути час після запуску двигуна, оберти двигуна, швидкість автомобіля, становище дросельної заслінки тощо. Багато тестів виконують на прогрітому двигуні. Виробники по-різному встановлюють ці умови, наприклад, для автомобілів Ford це означає що температура двигуна перевищує 70 °C (158°F) і протягом поїздки вона підвищилася щонайменше ніж 20 °C (36 F)

По різних причинах Executive може затримати виконання тесту:

- скасовані тести — Executive виконує деякі вторинні тести лише коли пройшли первинні, інакше тест не виконується;
- конфліктуючі тести — іноді одні й самі датчики і компоненти мають бути використані різними тестами. Executive не допускає цього, затримуючи один тест до остаточного виконання другого;
- затримані тести — тести та монітори мають різний пріоритет, Executive затримає тест з нижчим пріоритетом, доки виконає дослідження з вищим пріоритетом.

У табл. 3.1 наведено умови до виконання або затримку тестів монітора каталітичного нейтралізатора OBD-II сумісних автомобілів Chrysler [12].

Executive здійснює три виду тестів:

- пасивний тест означає просто спостереження (моніторинг) за значеннями параметрів системи чи кола;
- активний тест реалізується, коли система не проходить пасивний тест. Передбачається подача тест-сигналу і реєстрація реакції системи на неї. Тест-сигнал повинен надавати мінімальний вплив на поточну роботу досліджуваної системи;
- якщо не пройшли активний і пасивний тести, Executive виконає тест, під час якого режими двигуна і підсистем можуть змінюватися.

Результати виконання тестів передаються від моніторів Executive. Коди помилок виявленої несправності записуються в пам'ять ЕБУ і запалюється лампа MIL, якщо несправність підтверджується у двох поспіль поїздках.



Монітор ССМ контролює вхідні і вихідні сигнали компонентів і підсистем поза діяльності перших семи моніторів. Залежно від типу ЕБУ монітор ССМ можуть контролюватися такі пристрої:

- датчик масового витрати повітря;
- датчик температури охолоджувальної рідини;
- датчик температури повітря;
- датчик становища дросельної заслінки;
- датчик становища колінчатого валу;
- датчик становища розподільного вата;
- бензонасос тощо.

Зазвичай Executive включає лампу MIL після виявлення несправності у двох поспіль поїздах.

Монітори обслуговують:

- каталітичний нейтралізатор;
- датчики кисню;
- пропуски запалення;
- паливну систему;
- систему уловлювання парів палива в баку;
- систему рециркуляції вихлопних газів;
- систему подачі повітря на випускний колектор.

### **3.7.3 Монітор каталітичного нейтралізатора**

Сучасні газоаналізатори — це дуже складні, громіздкі і дорогі пристрої і на автомобілях не встановлюються. Для контролю несправності каталітичного нейтралізатора на його виході встановлено другий датчик кисню (див. рисунок 2.16). Систему керування подачею палива в двигун є релейним стабілізатором стехіометричного складу ПП-суміші, який коливається близько стехіометричного значення із частотою 4... 10 гц, що відстежується сигналом з вхідного стосовно каталітичного нейтралізатора датчика кисню. Цей сигнал коливається між рівнем 0,1...0,9 В на частоті 4... 10 Гц відповідно до зміни концентрації кисню в вихлопному газі. (див. рисунок 2.17, поз. 2).

### **3.7.4 Монітор датчиків кисню**

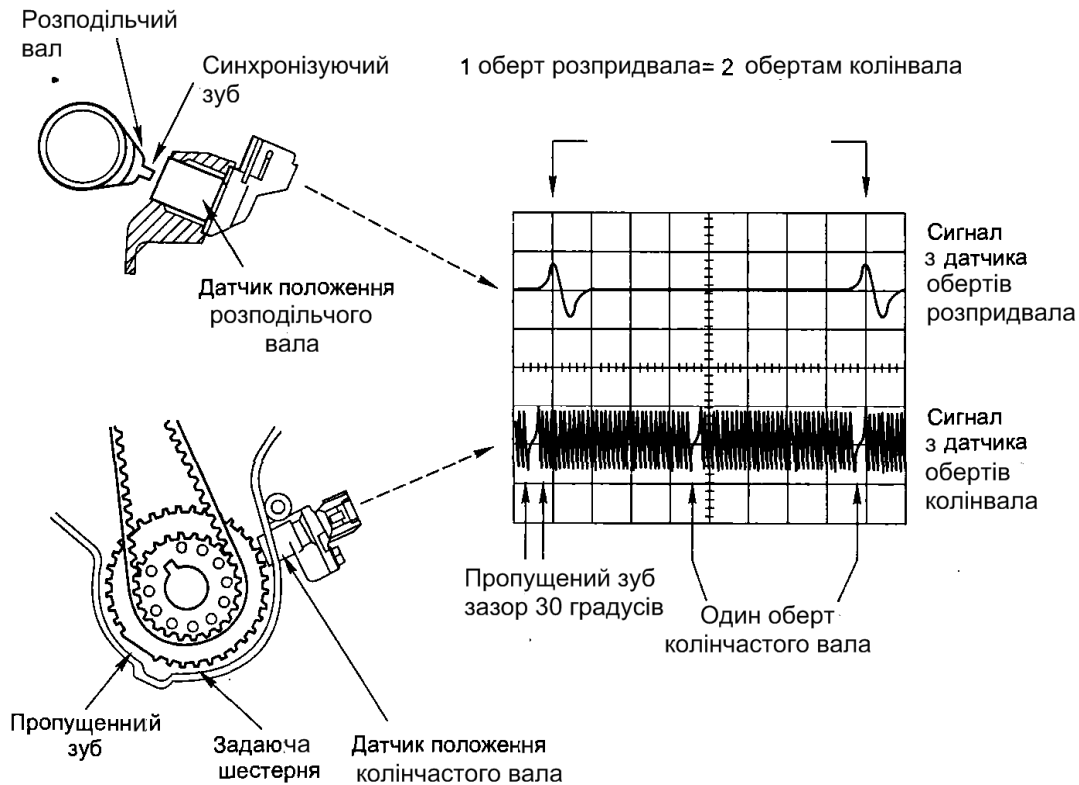
Монітор проводить різні тести залежно від того, де міститься датчик — на вході чи виході каталітичного нейтралізатора. Для обох датчиків перевіряється справність ланцюгів нагрівачів. Для датчика кисню на вході нейтралізатора перевіряються напругу по високому і низькому рівнях сигналу і частоти переключень. Частота визначається за кількістю перетинань сигналом з датчика середнього рівня 450 мВ за певний час; обмірюване значення порівнюється зі здобутих у попередньому тесті. Крім того, монітор визначає тривалість фронтів сигналу, тобто переходів «збіднена суміш — збагачена суміш» і «збагачена суміш — збіднена суміш». Зазвичай фронт «збіднена суміш — збагачена суміш» коротший. Монітор визначає також середній час реакції датчика кисню на вході нейтралізатора.

### **3.7.5 Монітор перепусток у системі запалювання**

Причиною пропусків може бути недостатня компресія, невідповідна кількість подаваного в циліндри палива, слабка іскра тощо. Пропуски призводять до збільшення

кількості вуглеводнів (СН) в вихлопних газах на вході каталітичного нейтралізатора, що прискорює його деградацію і збільшує вміст токсичних речовин, у вихлопі.

При пропуску запалення тиск у циліндрі під час робочого ходу нижче норми, рух поршня і колінчатого валу сповільнюється. Саме по цих ознаках монітор визначає наявність пропуску. Інформація йде від датчика становища колінчатого валу. Рівномірний проходження імпульсів із виходу датчика становища колінчатого валу (рисунок 3.7) порушується при пропуску, кілька імпульсів поспіль матимуть підвищену тривалість. Порівняння вихідних сигналів від датчиків становища розподільного і колінчатого валів дозволяє ідентифікувати циліндр з пропуском.



**Рисунок 3.7 - Схема визначення пропусків у системі запалювання**

Монітор враховує можливість вібрацій на поганих дорогах. Для підвищення захисту від перешкод організовані програмні лічильники пропусків запалення для кожного циліндра окремо. У цих лічильниках зберігається число пропусків протягом останні 200 і 1000 обертів розподільного валу. Щоразу, коли монітор фіксує пропуск, Executive запитує лічильники, визначаючи, чи не відрізняється вміст перевіреного лічильника з іншими. Монітор не допускає переповнення лічильників.

Монітор розрізняє несправності, коли пропуски запалення можуть вивести з ладу каталітичний нейтралізатор і коли норма на токсичність перевищена більш ніж в 1,5 рази. Executive негайно запише в пам'ять ЕБУ код помилки і лампа MIL буде при цьому блимати, якщо в понад 15% випадків під час останніх 200 оборотів було зафіксовано пропуски. У термінах OBD-II — це несправність і код помилки типу А.

Несправність типу В і код помилки встановлюються, якщо у двох поспіль поїздках монітор зафіксував більше 2% пропусків на 1000 обертів. Тоді Executive включає лампу MIL постійно і записує відповідні коди помилок в пам'ять ЕБУ.

### 3.7.6 Монітор паливної системи

ЕБУ в режимі роботи із зворотним зв'язком здійснює стабілізацію

стехіометричного складу паливної суміші. Це релейна стабілізація, тобто склад суміші постійно коливається між рівнем «багата суміш — бідна суміш», але загалом склад підтримується стехіометричним. Частота коливань близько 10 Гц.

При релейній стабілізації стехіометричного складу ПП-суміші ЕБУ постійно змінює цей склад в рамках  $\pm 20\%$ . Це нормально, такі переключення складу ПП-суміші потрібні й для сталої роботи каталітичного нейтралізатора. Коливання складу ПП-суміші відбиваються миттєвими значеннями коефіцієнта корекції паливоподачі. Ці значення коливаються відносно середнього в інтервалі  $\pm 20\%$  при нормальній роботі. При відключенні запалювання миттєві значення коефіцієнтів корекції подачі палива не зберігаються.

Інформації про середні значення коефіцієнта паливо-корекції потрібна при діагностиці, природно, вона входить в число параметрів, отриманих від ЕБУ сканером. На застарілих автомобілях значення коефіцієнтів паливо-корекції нормувалися в рамках 0...255 звітів або 0... 100%.



**Рисунок 3.8 - Шкала коефіцієнтів паливо-корекції**

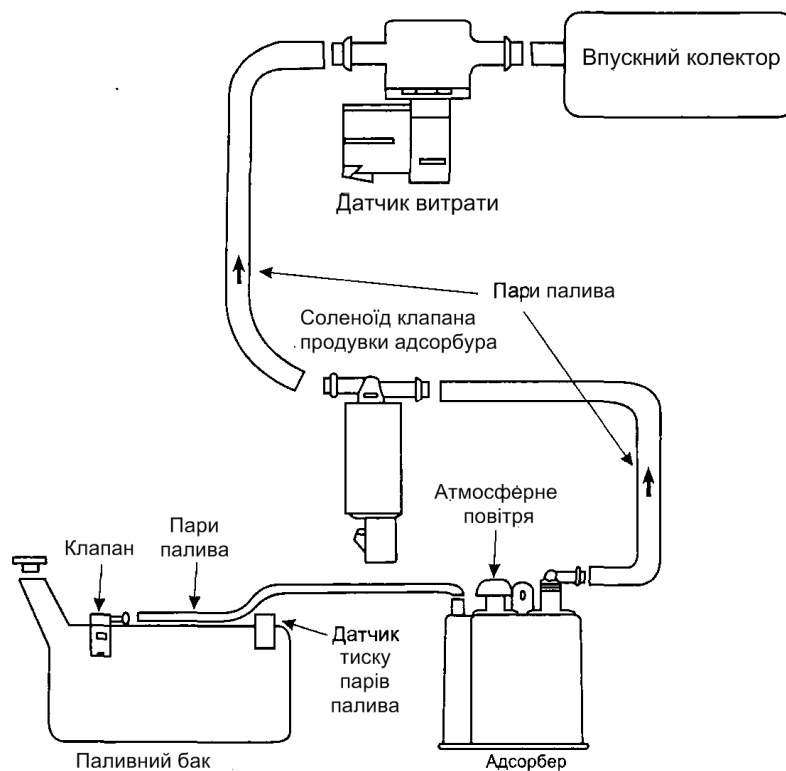
Для контролера МР7.0Н автомобіля ВАЗ середні значення коефіцієнтів корекції подачі палива можливі в діапазоні  $\pm 0,45$  [11]. Для систем OBD-II значення нормовані в діапазоні  $\pm 100$  (рисунок 3.8). Значення із середини діапазону, тобто 128 звітів чи 50% (0% для OBD-II) відповідають оптимальному режиму роботи справного двигуна, де ніякої корекції базових значень каліброваної діаграми в осях «обертів — навантаження двигуна» не проводилося.

Монітор паливної системи відстежує середні і миттєві значення коефіцієнтів корекції паливоподачі. У випадку, коли ЕБУ у вигляді корекції подачі палива не може компенсувати накопичувані несправності, загоряється лампа MIL і заносять у пам'ять відповідні коди помилок.

### 3.7.7 Монітор системи уловлювання парів бензину

Монітор контролює обсяг парів палива, що надходить з адсорбера у впускний колектор, і виток з цієї системи. Пари палива поступають із бака (рисунок 3.9) в адсорбер з активованим вугіллям обсягом близько 1 л, де нагромаджуються і за певної умови, наприклад при рівномірному збільшенні швидкості руху автомобіля, ЕБУ відкриває електромагнітний клапан продувки адсорбера, пари палива засмоктуються з повітрям у впускний колектор і спалюються в циліндрах двигуна. Якщо не взяти подібних заходів то випаровування палива дає до 20% загальної кількості токсичних речовин, що викидаються автомобілем в довкілля.

Монітор контролює об'ємну витрату парів палива за сигналом датчика тиску в бензобаку (рисунок 3.9).



**Рисунок 3.9 - Схема уловлювання парів палива на баку**

При цьому продувки адсорбера відкритий, а клапан підвода атмосферного повітря на адсорбер закритий. При закритому клапані продувки адсорбера по показниках датчика тиску парів палива в баку визначається інтенсивність витоку.

Якщо у двох поспіль поїздках буде зафіксовано несправності, Executive включить лампу MIL і запише коди помилок.

### 3.7.8 Монітор системи рециркуляції вихлопних газів

Система рециркуляції вихлопних газів (exhaust gas recirculation — EGR) призначена для зменшення вмісту окислів азоту ( $\text{NO}_x$ ) у вихлопних газах. У присутності сонячного світла  $\text{NO}_x$  входять у реакцію з вуглеводнем, утворюючи канцерогенний фотохімічний смог.

Вперше система EGR було застосовано автомобілями Chrysler в 1972 року. Окисли азоту виникають за нормальної температури в камері згоряння вище  $1370^\circ\text{C}$  ( $2500^\circ\text{F}$ ). При певних режимах роботи двигуна, коли не виробляється відбір повної потужності, наприклад, при рівномірному русі по шосе, допустимо знизити температуру згоряння робочої суміші, тобто вдатися до зменшення потужності. Це досягається введенням невеликої кількості (6... 10%) вихлопних газів з випускного у впускний колектор. Вихлопні гази мало містять кисню і тому розбавляють ПП-суміш, не змінюючи коефіцієнт  $\beta$  (співвідношення повітря/паливо), але помітно знижують температуру горіння.

З 80-х років EGR є частиною електронної системи управління двигуном. Монітор EGR контролює ефективність роботи системи рециркуляції вихлопних газів. Під час тесту відкривається і закривається клапан EGR і спостерігаються реакції контрольного датчика. Вихідний сигнал контрольного датчика порівнюється зі значеннями з каліброваної таблиці, визначається ефективність системи EGR, при незадовільних результатах монітор запише в пам'ять ЕБУ відповідні коди помилок. В якості

контрольного датчика можна використовувати різні пристрої. На автомобілях Chrysler [12] контролюється зміна вихідної напруги датчика кисню. При закриванні клапана EGR вміст кисню в вихлопних газах підвищується, і, як наслідок, напруга на виході датчика кисню зменшується. Монітор запише код помилки, якщо ця напруга зменшилася недостатньо.

На автомобілях General Motors в якості контрольного використовується датчик абсолютного тиску у впускному трубопроводі, де тиск змінюється при відкриванні клапана EGR.

### **3.7.9 Монітор інжекції вторинного повітря (AIR-monitor) в каталітичний нейтралізатор**

Каталітичні нейтралізатори з повторною інжекцією повітря для прискорення їх розігріву під час пуску двигуна використовуються не на всіх автомобілях, відповідно в програмному забезпеченні не всіх ЕБУ є такі монітори.

Монітор контролює під час тесту справність клапанів й байпасного каналу, кількість пройденого в нейтралізатор повітря. Для ідентифікації пройденого через клапан повітря більшість виробників використовують датчик кисню на вході нейтралізатора. Розуміється, Executive затримує виконання тесту монітора AIR, поки не виконається буде тест монітора датчиків кисню. Як і для решти моніторів, Executive включає лампу MIL і записує коди помилок у пам'ять ЕБУ для виявлення несправності у двох поїздках поспіль.

## **Тема 4 Функціональні перетворювачі в автомобільних системах керування**

### **4.1. Функціональний перетворювач**

#### **4.2. Лінгвістичні перетворювачі**

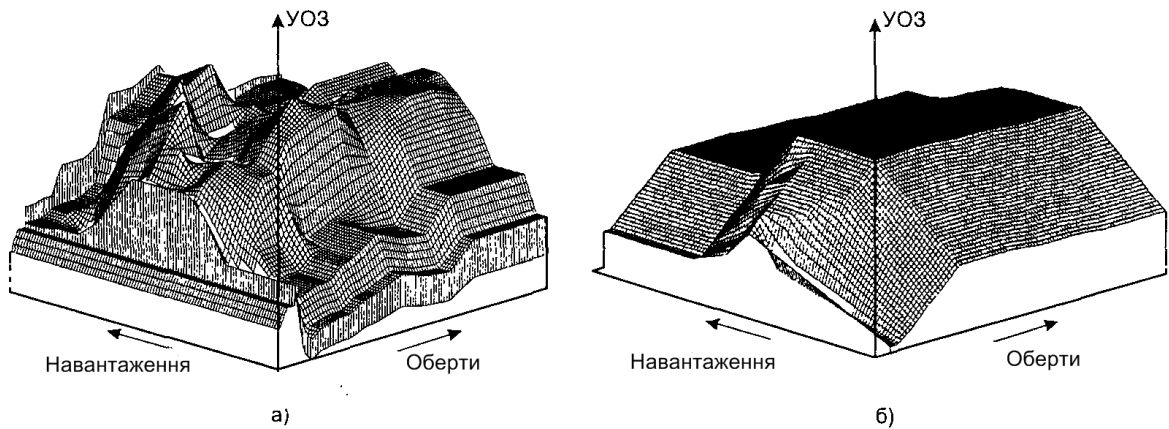
#### **4.3. Продукційні правила**

#### **4.4. Застосування нечіткої логіки управління**

### **4.1 Функціональний перетворювач**

Функціональний перетворювач цец прилад чи програма,яке реалізує залежність  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  Тут  $y$  — вихідна величина,  $x$ , — вхідні величини,  $f$  — реалізована залежність.

Наприклад, кут випередження запалювання (КВЗ) опприділяється функція оборотів двигуна і навантаження:  $КВЗ = f(\text{оберти, навантаження})$ . Функціональне перетворення виконується механічним пристроєм (відцентрово-вакуумним регулятором) чи підпрограмою в сучасному електронному блоці управління (ЕБУ) двигуна. Автомобільні системи управління складні пристрої, у яких враховуються значення багатьох параметрів. Багатопараметричні математичні моделі для більшості автомобільних систем управління не розробляються. У цих умовах залежності, наявні між вхідними і вихідними параметрами, реалізовані в автомобільних системах управління, синтезуються з урахуванням інженерного досвіду, експериментальних досліджень, корисна інформація представляється у вигляді багатомірних калібрувальних діаграм.



**Рисунок 4.1 - Тривимірні характеристики запалювання:**  
 а -- зберігається у пам'яті ЕСАУ;  
 б -- реалізована відцентровим і вакуумним регуляторами

На рисунку. 4.1, а показана тривимірна калібровочна діаграма, реалізована в ЕБУ автомобільного двигуна щодо КВЗ[11].

На рисунку 4.1, б показана аналогічна залежність, яка дає менше інформації, реалізована відцентрово-вакуумним автоматом. Такі калібровані діаграми називаються тривимірними характеристиками запалювання (ТХЗ).

## 4.2 Лінгвістичні перетворювачі

Поряд з застосуванням трьохмірних калібровочних и коректуючи діаграм в автомобільних електронних системах автоматичного управління(ЕСАУ) знаходять застосування лінгвістичні функціональні перетворювачі, вхідними і вихідними параметрами для яких являються так звані лінгвістичні перемінні.

Уточнимо поняття лінгвістичного перетворювача: це перемінна, значеннями якої являються нечіткі підмноження, виражені в формі слів чи пропозицій на природній чи штучній мові. На відміну від класичної теорії множення в якій використовуються поняття приналежності чи приналежність елемента до множення, теорія нечітких множень допускає різну ступінь приналежності, яка визначається функцією приналежності елемента, значення якої міняються в інтервалі 0,1. Границя інтервала характеризує повну приналежність до нуля або повну приналежність до одиниці елемента нечіткого множення.

Для реалізації лінгвістичного перетворювача необхідно определити точне фізичне значення її термів. Нехай наприклад перетворювач ТІ може приймати любое значення в діапазоні 5...40°C. Згідно положенню теорії нечітких множень кожному значенню температури із діапазона 5...40°C може бути поставлено в деяке число від 0 до 1, яке оприділяє ступінь приналежності давного фізичного значення температури( наприклад 18°C) до того чи іншого терма лінгвістичного перетворювача ТІ. В нашому випадку температурі 18°C можна задати ступінь приналежності до терма COLD, рівну 0,4 а до терма COOL – 0,6. Конкретне визначення ступені приналежності виробляється експертами.

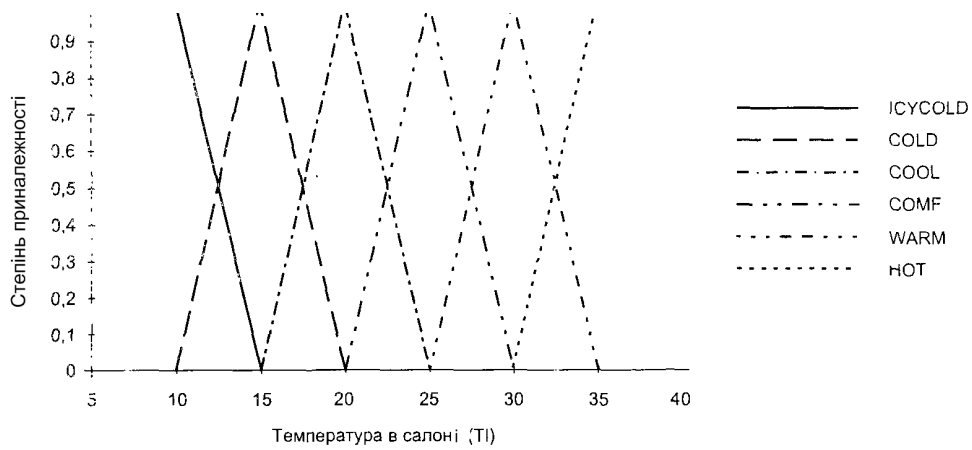


Рис. 4.2. Лінгвістична змінна TI

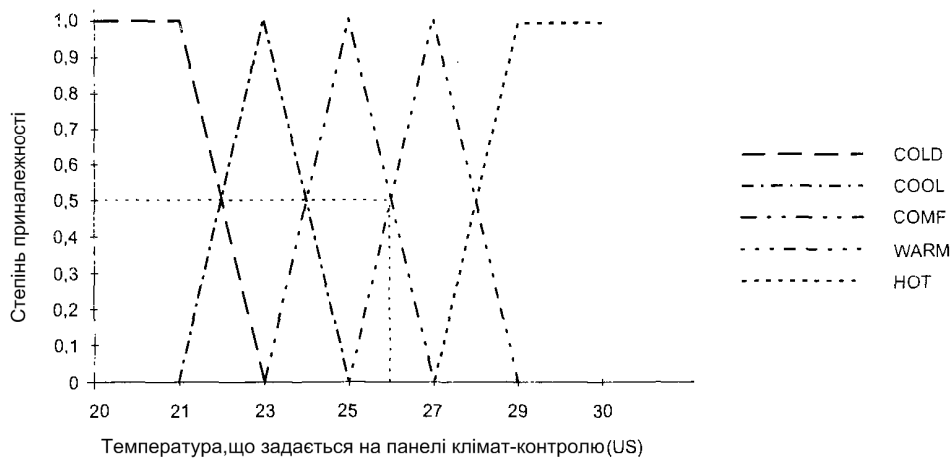


Рисунок 4.3 - Лінгвістична змінна US

На рисунку 4.2 і 4.3 показані функції (степеня) приналежності для лінгвістичних змінних TI і US за умови встановлення температури в салоні. Процедура перетворення значень базової перемінної в нечітку лінгвістичну змінну, що характеризується функцією приналежності, називається фазифікацією. Насправді найчастіше використовуються трикутні, колообразні і трапецеїдальні функції приналежності (рисунок 4.4). Зазначимо, що використання лінгвістичних змінних

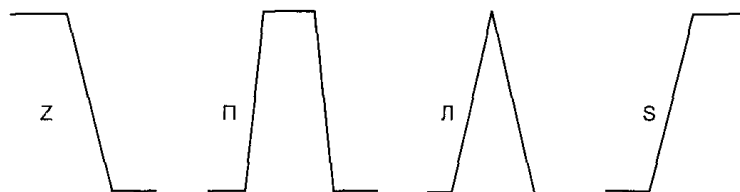
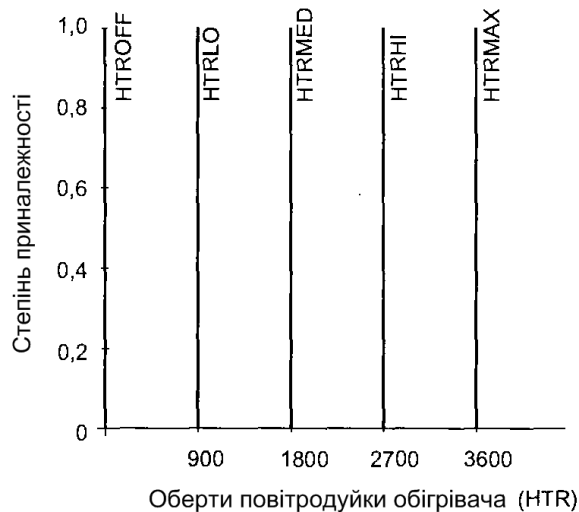


Рисунок 4.4 - Типові функції приналежності: Z-функція, П-функція, Л-функція, S- функція



**Рисунок 4.5 - Лінгвістична змінна HTR**

означає стиснення даних, таяк одним значенням лінгвістичної перемінної охоплюють весь діапазон значень базової перемінної. Вихідна лінгвістична змінна HTR (обертів вентилятора отопителя) реалізується у вигляді термів HTRROFF (відключено), HTRLO (малі оберти), HTRMED (середні), HTRHI (високі), HTRMAX (максимальні). Для функцій приналежності вихідні величини можуть бути показані тільки максимумами (рисунок 4.5).

### 4.3 Продукційні правила

Задля реалізації управління задаються (визначаються) продукційні правила, котрі пов'язують вхідні і вихідні лінгвістичні перемінні. Сукупність таких правил описує стратегію управління, застосовується уцьому завданні. Стратегія має бути зрозумілою розробникові на інтуїтивному рівні. Це з продукційних правил, його зміст у тому, щ околи у салоні дуже холодно, а уставка перемикача на панелі клімат-контролю в положенні «жарко», вентилятор отопителя повинен працювати на повну потужність. Продукційні правила — типові умовні оператори у стислій формі (без ELSE). Інколи їх задають таблицею(рисунок 4.6)

	ICYCOLD	COLD	COOL	COMF	WARM	HOT
HOT	HTRMAX	HTRMAX	HTRHI	HTRLO	HTRLO	HTRROFF
WARM	HTRMAX	HTRHI	HTRMED	HTRLO	HTRROFF	HTRROFF
COMF	HTRMAX	HTRMED	HTRLO	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF
COOL	HTRHI	HTRLO	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF
COLD	HTRMED	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF	HTRROFF

**Рисунок 4.6. Продукційні правила**

Припустимо, що температура в салоні 18°C, а уставка на панелі управління клімат-контролю 26 °C. Ступінь приналежності 18 °C до терму COOL перемінної TI становить 0,6, а до терму COLD — 0,4 (рисунок 4.2). Ступінь приналежності 26°C до терму WARM перемінної US становить 0,5, а до терму COMF також 0,5 (рисунок 4.3). До інших термів приналежність кульова, тому, відповідно до нечіткої логіки виявляються задіяними такі продукційні правила:



IF (TI = COOL) AND (US = WARM) THEN HTR = HTRMED  
 IF (TI = COOL) AND (US = COMF) THEN HTR = HTRLO  
 IF (TI = COLD) AND (US = WARM) THEN HTR = HTRHI  
 IF (TI = COLD) AND (US = COMF) THEN HTR = HTRMED

Тепер потрібно визначити ступеня приналежності антецедентів правил. І тому в нечіткій логіці існують два оператора: MIN(...) і MAX(...). Перший обчислює мінімальне значення ступеня приналежності, а другий — максимальне значення. Коли застосовувати той чи інший оператор, залежить від того, якою зв'язкою з'єднані посилки у правилі. Якщо використана зв'язка AND, застосовується оператор MIN(...). Якщо ж посилки об'єднані зв'язкою OR, необхідно застосувати оператор MAX(...). У нашому прикладі застосуємо оператор MIN(...), оскільки використана зв'язка AND. Одержимо таке:

MIN(0,6, 0,5) = 0,5  
 MIN(0,6, 0,5) = 0.5  
 MIN(0,4, 0,5) = 0,4  
 MIN(0,4, 0,5) = 0,4

Обчислені значення стають числовими значеннями ступеня приналежності відповідних консеквентів. Наприклад, з першого продукционного правила слід, що ступінь приналежності необхідного числа оборотів вентилятора N до терму HTRMED (1800 обертів на хвилину) лінгвістичної перемінної HTR становить 0,5. Кажуть, що отриманий нечіткий висновок чи нечітке значення керуючої перемінної. Щоб виконавчий пристрій зміг відпрацювати отриману команду, необхідний етап управління, у якому позбуваються нечіткості і який називається дефазифікацією. Нині відсутня систематична процедура вибору стратегії дефазифікацією. Насправді в системах управління часто використовують центроїдний метод. У дискретному разі для центроїдного методу формула для обчислення чіткого значення вихідної перемінної має вигляд:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^n \mu_c(z_i)}$$

де z — чітке значення вихідний перемінної; z<sub>i</sub> — значення вихідної перемінної для i-го терма з одиничним значенням ступеня приналежності; μ — степінь належності до цьому терму, n — число термов. У нашому прикладі відповідно до рисунку 4.5:

$$N = \frac{0,5 \cdot 1800 + 0,5 \cdot 900 + 0,4 \cdot 2700 + 0,4 \cdot 1800}{0,5 + 0,5 + 0,4 + 0,4} = 1750 \text{ об/мин.}$$

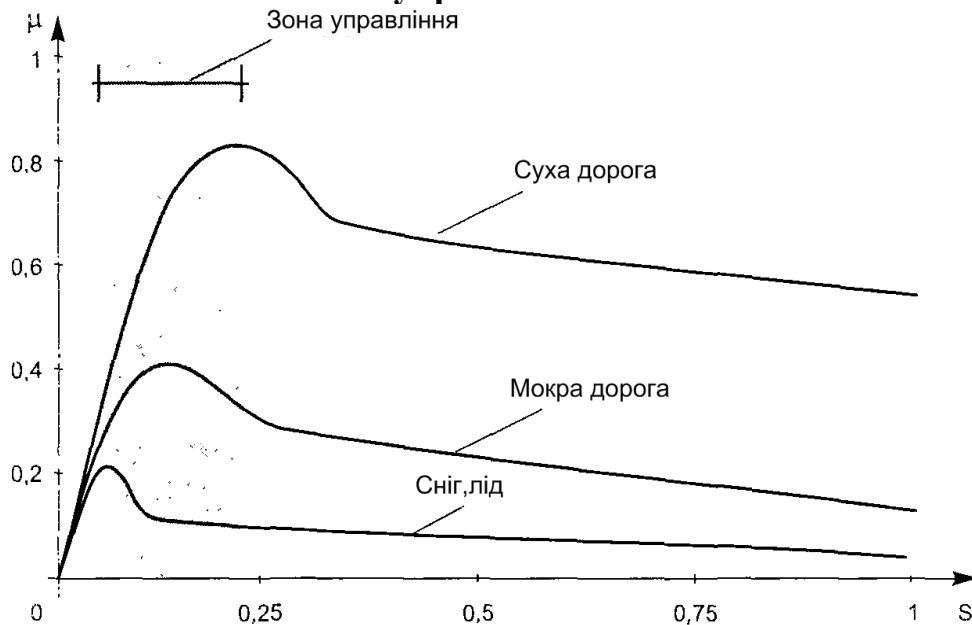
#### 4.4 Застосування нечіткої логіки управління

Застосування нечіткої логіки призводить до своєрідного стиску оброблюваних даних, непотрібно створювати громіздкі багатовимірні калібровані таблиці, але обсяг обчислень зростає. Лінгвістичні функціональні перетворювачі з нечіткою логікою широко використовують у системах самонаведення багатьох автомобільних агрегатів, наприклад, в гідравлічних гальмах і системі ABS. Для ефективного гальмування система ABS обмежує тиск гальмівної рідини, запобігаючи блокуванню коліс, утримуючи коефіцієнт ковзання S в оптимальних межах 0,05...0,2 (рисунок 4.7). Коефіцієнт ковзання

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a},$$

де  $V_a$  — швидкість автомобіля,  $V_k$  — лінійна швидкість крапки на радіусі колеса. Системи ABS більшості виробників налаштовані на компромісне значення  $S = 0,1$ . Але дорожні умови різні, й на обледенілій дорозі  $S$  має бути рівне  $0,05$ , але на сухому асфальті  $0,2$ .

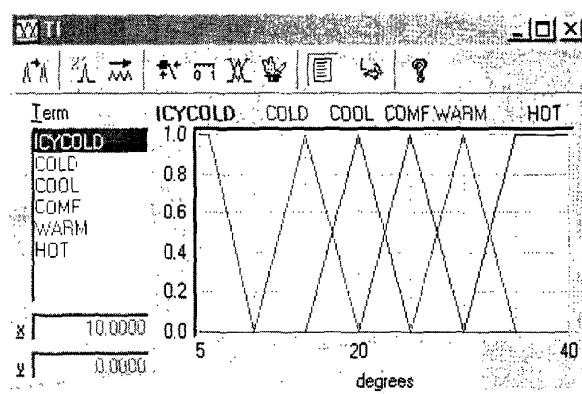
#### 4.4 Застосування нечіткою логіки управління



**Рисунок 4.7 - Залежність сили тертя  $\mu$  від коефіцієнта ковзання  $S$**

Алгоритми нечіткої логіки можна побачити у програмному забезпеченні електронних систем автомобіля для визначення КВЗ, управління подачею палива, управління дросельною заслінкою в круїз-контролі, управління автоматичною коробкою передач, в зарядних пристроях інтелектуальних акумуляторів електромобілів.

Автомобіль — складний об'єкт для керування. Наприклад, система управління динамічною стабільністю й додатковою курсовою сталістю руху з урахуванням нечіткої логіки використовує 200—600 продукційних правил. Але спрацьовування системи значно пришвидшується по рівні з технічним рішенням з урахуванням калібрувальних діаграм [17].



**Рисунок 4.8 - Описання основної лінгвістичної перемінної TI**

Процес розробки системи управління з нечіткою логікою функціонування включає:

- визначення лінгвістичних неремінних, нечітких правил, методу дефазифікації;
- налагодження і аналіз програмної моделі;
- оптимізацію системи управління з урахуванням персональної ЕОМ із реальним об'єктом;
- генерацію коду для мікроконтролера реальної системи управління.

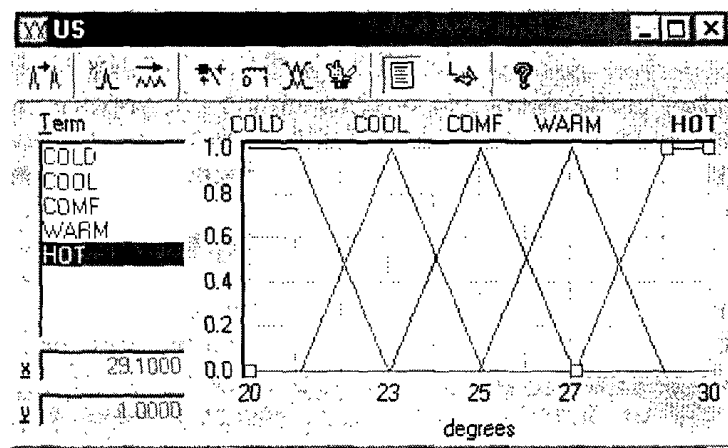


Рисунок 4.9 - Описання основної лінгвістичної перемінної US

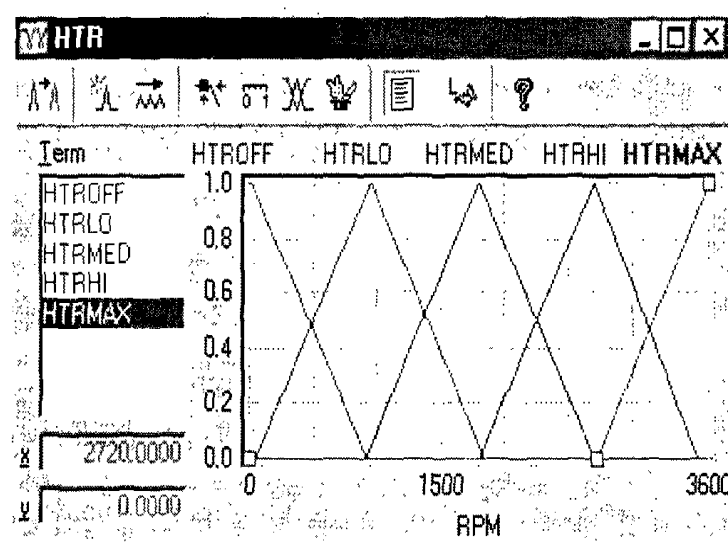


Рисунок 4.10 - Описання основної лінгвістичної перемінної HTR

У таблиці (рисунок 4.11) DoS — це ваговий коефіцієнт відповідного правила, у разі DoS = 1. Програмний пакет fuzzy-TECH дозволяє моделювати поведінку проєктованої системи. Змінюючи значення вхідних змінних, можна спостерігати відповідні значення вихідних (рисунок 4.13)

На останньому етапі необхідно отримати кінцевий варіант програмного коду для конкретного мікроконтролера і якщо потрібно зв'язати його з основою програмою ЕСАУ. Основу програмного коду складає програмне ядро, апаратно-орієнтоване на конкретний тип процесора. Постається з пакетом fuzzy-TECH MCU-96 програмне ядро сумісно з такими типами контролерів, як 8051..., 80251.. і інші.