

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ  
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**«ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ»**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

Львів 2015р.

*Шаповалов О.В., Лин А.С., Кравець І.П.* Методичний посібник «Електротехнічні системи автомобілів» для курсантів, студентів та слухачів з дисципліни “Основи теорії систем і управління” та «Вимірювання і електробезпека автомобіля спеціальності «Транспортні технології» – Львів: ЛДУ БЖД ДСНС України, 2015. – 260с.

Успішний розвиток автомобільної бортової електроніки кожні 8 - 10 років значно підвищує якісні показники автомобілів, що знов випускаються. Інтерес до автомобільних електронних систем постійно росте.

У методичному посібнику описані бортові системи автомобіля, які здатні вимірювати, контролювати, аналізувати та регулювати безліч параметрів та показників роботи транспортного засобу, а також повідомляти водія про виникнення позаштатних ситуацій, тим самим забезпечуючи безпеку як водія, так і пасажирів.

Також в посібнику розглянуто закони та принципи реалізації роботи бортових систем та інших систем, які можна застосовувати в автомобілі з метою безпечної експлуатації, забезпечення безпеки та полегшення управління автомобілем і його агрегатами.

Рецензенти: професор кафедри «Інформаційно-вимірювальні технології» Інституту комп’ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук, професор Яцишин С.П.; заступник завідувача кафедри прикладної математики і механіки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності кандидат технічних наук, доцент Боднар Г.Й.

Розглянуто на засіданні кафедри електротехніки, промислової та пожежної автоматики Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України

Протокол № \_\_\_\_\_ від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Рекомендовано методичною радою ЛДУ БЖД МНС України.

Протокол № \_\_\_\_\_ від “ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

© Шаповалов О.В. 2015 р.

© Лин А.С. 2015 р

© Кравець І.П. 2015 р

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ РЕГУЛЮВАННЯ.....	8
1.1. Передавальні функції елементів.....	8
1.2. Способи з'єднання елементів та їх еквівалентні передавальні функції.....	11
1.3. Перенесення передавальних функцій через вузли сумування та розгалуження сигналів.....	15
2. РЕГУЛЯТОРИ.....	21
2.1. Операційні підсилювачі.....	21
2.1.1. Структура операційних підсилювачів.....	21
2.1.2. Основні параметри операційних підсилювачів.....	23
2.2. Загальна схема і передавальна функція регулятора.....	26
2.2.1. Пропорційний регулятор (П-регулятор).....	28
2.2.2. Інтегральний регулятор (І-регулятор).....	29
2.2.3. Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор).....	31
2.2.4. Диференціальний регулятор (Д-регулятор).....	34
2.2.5. Аперіодична ланка першого порядку (А-регулятор).....	38
3. ДАТЧИКИ.....	39
3.1. Датчики постійного струму і напруги.....	39
3.1.1. Функціональна схема датчиків струму і напруги.....	39
3.1.2. Вхідні кола датчиків струму і напруги.....	40
3.1.3. Принцип роботи модулятора та демодулятора.....	41
3.1.4. Огляд інших способів контролю струму.....	43
3.2. Датчик електрорушійної сили.....	46
3.3. Датчик активного струму.....	50
3.4. Датчики швидкості.....	51
3.4.1. Тахогенератор постійного струму.....	53
3.4.2. Асинхронний тахогенератор.....	55
3.4.3. Імпульсні датчики швидкості.....	57

3.4.4. Автомобільний тахометр.....	63
3.5. Датчики переміщення.....	65
3.5.1. Сельсин.....	65
3.5.2. Синусно-косинусний обертовий трансформатор (СКОТ).....	67
3.5.3. Індуктосин.....	71
3.5.4. Фотоелектричні датчики переміщення .....	73
3.5.5. Цифрові кодуєчі перетворювачі переміщення.....	78
3.6. Давачі імпульсів.....	80
3.6.1. Оптичний датчик імпульсів.....	81
3.6.2. Індукційний датчик імпульсів.....	81
3.6.3. Датчик Холла.....	83
3.7. Датчик положення дросельної заслінки.....	85
3.8. Датчик детонації.....	86
3.9. Датчик витрати повітря.....	87
4. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ .....	90
4.1. Основні поняття та визначення автоматики.....	90
4.2. Призначення і класифікація електричних апаратів.....	93
4.3. Будова та принцип дії комутуючих електричних апаратів ручного керування.....	95
4.4. Апарати контролю та керування (пускорегулюючі).....	98
4.5. Апарати захисту та їх види.....	100
4.5.1. Плавкі запобіжники.....	101
4.5.2. Автоматичні вимикачі.....	103
5. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ БОРТОВІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ.....	110
5.1. Сучасна інформаційна система водія.....	110
5.1.1. Системи розпізнавання голосу і перетворення тексту в мову.....	113
5.1.2. Бортовий комп'ютер.....	113
5.1.3. Інформація про стан бортових систем автомобіля.....	115
5.2. Бортові засоби відображення інформації.....	117
5.2.1. Стрілочні індикатори.....	118

5.2.2. Цифрові індикатори (дисплеї).....	119
5.2.3. Індикатори на світло діодах.....	119
5.2.4. Рідкокристалічні дисплеї.....	120
5.2.5. Вакуумні флуоресцентні індикатори.....	121
5.2.6. Електронно-променеві трубки.....	121
5.3. Приладові панелі.....	122
5.4. Відображення інформації на лобовому склі.....	125
5.5. Перспективні засоби відображення інформації.....	127
5.6. Навігаційні системи автомобіля.....	128
5.6.1. Функції, структура і складені компоненти навігаційної системи.....	129
5.6.2. Датчик азимута (компас).....	131
5.6.3. Датчик швидкості обертання коліс.....	132
5.6.4. Гіроскоп.....	133
5.7. Навігаційне числення.....	134
5.8. Електронні карти.....	135
5.8.1. Орієнтування на карті місцевості по конфігурації пройденого шляху.....	136
5.8.2. Вибір оптимального маршруту.....	137
5.9. Супутникова позиціонуюча система GPS.....	138
5.10. Приклади автомобільних навігаційних систем.....	141
5.11. Системи охоронної сигналізації протиугінні пристрої.....	145
5.11.1. Електронні протиугінні системи.....	145
5.11.2. Дистанційне керування протиугінними пристроями.....	147
5.11.3. Характеристики противоугінних систем з дистанційним управлінням.....	148
5.11.4. Робота протиугінної системи з дистанційним управлінням.....	149
5.11.5. Види злочину і захист від них.....	151
5.11.6. Шифратори і дешифратори динамічного коду Keeloq.....	154
5.11.7. Імобілізатор з транспондером.....	158
5.11.8. Конфігурація протиугінної системи.....	160

6 СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	162
6.1. Активні системи безпеки.....	162
6.1.1. Гальмівні активні системи безпеки.....	165
6.1.2. Системи керування.....	186
6.1.3. Трансмісійні системи.....	189
6.1.4. Підвіска.....	209
6.1.5. Інші активні системи безпеки.....	210
6.2. Пасивні системи безпеки.....	227
6.2.1. Подушки безпеки.....	229
6.2.2. Система захисту від бокового удару.....	239
6.2.3. Активні підголовники.....	244
6.2.4. Ремені безпеки.....	246
6.2.5. Натягувач ременів безпеки.....	250
6.2.6. Аварійний від'єднювач акумуляторної батареї.....	251
7. ДИСКРЕТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	254
7.1. Класифікація дискретних систем керування.....	254
7.2. Імпульсні САК.....	255
Література.....	259

## ВСТУП

Сучасний автомобіль складається з чотирьох основних агрегатів: двигуна внутрішнього згорання, кузова, шасі і ходової частини. Ці агрегати складаються з різних функціональних систем, які забезпечують виконання головної функції автомобіля — перевезення вантажів і пасажирів.

Зовсім недавно мікропроцесорні системи запалення, електронні системи управління гідравлічними гальмами, системи уприскування бензину, бортова самодіагностика вважалися останніми досягненнями в області автомобілебудування. Тепер їх відносять до класичних систем і встановлюють на кожен серійний автомобіль, що виготовляється за європейськими стандартами якості.

Крім специфіки виконуваних функцій, новітні системи автомобільної бортової автоматики кардинально відрізняються від класичних, чисто електронних систем, широкою різноманітністю принципів дії вхідних в них складених підсистем, що у них входять. Залежно від вирішуваного завдання в нову систему, як основні компоненти можуть входити не тільки електричні і електронні вузли і блоки, а і механічні, гідравлічні, оптичні, ультразвукові і будь-які інші пристрої, що мають неелектричну природу функціонування. Їх роль в реалізації заданої функції управління головна, хоча всі інформаційні процеси в системі реалізуються на рівні електронних блоків управління (ЕБУ), а в новітніх системах — в бортових мікропроцесорах. Такі великі складні комплекси управління не можуть відноситися ні до механічних, ні до електричних, ні до електронних, ні до будь-яких інших «чистих» за принципом дії систем. В зв'язку з цим новітні системи автомобільної бортової автоматики, що встановлюються на концептуальні автомобілі, отримали нову назву — автотронні системи.

# 1. ОСНОВИ ТЕОРІЇ РЕГУЛЮВАННЯ

## 1.1. Передавальні функції елементів

Автомобіль, це складна система різноманітних пристроїв, робота яких узгоджується спільною системою керування. Для зручності налаштування та експлуатації усе обладнання транспортного засобу поділяють за призначенням на окремі системи, до яких можуть входити підсистеми, до яких в свою чергу можуть входити пристрої і механізми, які складаються з багатьох елементів, які в сукупності і складають систему автоматичного керування.

*Елемент* - це пристрій, який входить до складу системи автоматичного керування чи електротехнічної системи як конструктивна одиниця, виконує визначені функції керування і має відносні прості залежності між його вхідними і вихідними величинами. Елемент не являє собою математичної моделі, а є конструктивно закінченим технічним пристроєм.

За енергетичною ознакою елементи можна розділити на:

- силові елементи;
- елементи керування.

Силові елементи – це елементи, через які проходить основний потік енергії, який перетворюється ними і передається до робочого органа об'єкта керування.

Елементи керування - формують і передають сигнали керування силовим елементам. Іншими словами, вони здійснюють керування енергетичним потоком і формують необхідні характеристики об'єкта керування.

Поведінку об'єкта або його елементів описують рівняння динаміки. Рівняння динаміки для неперервних систем регулювання зазвичай представляються у вигляді лінійних диференціальних, інтегральних, алгебраїчних рівнянь. Для імпульсних пристроїв рівняння динаміки записуються у вигляді лінійних рівнянь у кінцевих різницях.



Необхідно також відзначити, що лінійні диференціальні рівняння можуть бути записані в повних похідних, якщо їх математична модель складена для елементів із зосередженими параметрами, або в часткових похідних, коли модель складена з елементів з розподіленими параметрами. У тих випадках, коли рівняння динаміки об'єкта або елемента системи не можуть бути лінеаризовані, поведінка системи регулювання описується нелінійними рівняннями. Наявність нелінійних рівнянь істотно впливає як на поведінку всієї системи регулювання в цілому, так і на форму її представлення для розрахунків.

З метою спрощення методів розрахунків і проектування систем автоматичного керування (САК) рівняння динаміки об'єктів або їх елементів записують не через оригінали функцій, а у вигляді зображень функцій, які отримуються за допомогою прямого перетворення Лапласа, в результаті чого здійснюється перехід від диференціальних рівнянь до алгебраїчних.

Якщо оригінал  $x(t)$  є функцією часу  $t$ , то зображення цієї функції  $X(p)$  (у деяких літературах оператор позначають не літерою  $p$ , а  $s$ ) є функція комплексної змінної  $p$  і задається за допомогою інтеграла вигляду:

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt. \quad (1)$$

У теорії автоматичного керування для дослідження характеристик об'єкта керування і його елементів користуються не рівняннями, записаними через зображення функції, а їх передавальними функціями.

На рис. 1.1 показано структурну схему будь-якого елемента з передавальною функцією  $W(p)$ . **Передавальною функцією  $W(p)$**  називається відношення операторного зображення приросту вихідної величини до операторного зображення приросту вхідної величини при нульових початкових умовах.

$$W(p) = \frac{\Delta x_{\text{вих}}(p)}{\Delta x_{\text{вх}}(p)}$$

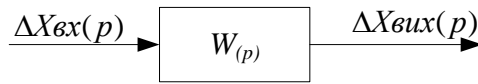


Рисунок 1.1 – Структурна схема елемента.

Операція перетворення Лапласа є складною. Однак при нульових початкових умовах запис перетвореного за Лапласом диференційного рівняння збігається з його записом в операторній формі, при цьому:

$$p \Rightarrow \frac{d}{dt}; \quad p^2 \Rightarrow \frac{d^2}{dt^2} \quad \dots \quad p^n \Rightarrow \frac{d^n}{dt^n}.$$

Простим є спосіб визначення передавальної функції із диференційного рівняння. Для цього необхідно оператор диференціювання  $\frac{d}{dt}$  замінити оператором  $p$  і взяти відношення вихідної величини до вхідної.

Наприклад, нехай диференціальне рівняння, яке описує певний елемент, має вигляд:

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t) \tag{2}$$

де  $T$  – стала часу елемента;

$K$  – коефіцієнт підсилення;

$y(t)$  – вихідна координата;

$x(t)$  – вхідна координата.

Перейдемо до операторної форми запису і знайдемо передавальну функцію елемента. Після застосування вище наведеного правила, вираз (2) запишемо у такій формі:

$$Tру(p) + y(p) = Kx(p). \quad (3)$$

Винесемо  $y(p)$  за дужки.

$$y(p)(Tp + 1) = Kx(p). \quad (4)$$

З виразу (4), знайдемо передавальну функцію елемента:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{K}{Tp + 1}. \quad (5)$$

## 1.2. Способи з'єднання елементів та їх еквівалентні передавальні функції

Для спрощення структурних схем, отримання передавальної функції всієї розімкненої системи, передавальної функції замкнутої системи застосовуються структурні перетворення. Структурні перетворення основані на принципі суперпозиції і тому застосовуються лише до лінійних систем.

Досить часто структурні перетворення дають змогу привести вихідну багатоконтурну схему до простої одноконтурної схеми або так званої еквівалентної схеми. Розглянемо правила перетворення структурних схем.

Є три способи з'єднання елементів:

- послідовне з'єднання;
- паралельне з'єднання;
- зустрічно паралельне або з'єднання за схемою зворотного зв'язку.

**Послідовне з'єднання елементів** – це такий спосіб з'єднання елементів, при якому вихідний сигнал попереднього елемента надходить на вхід одного наступного елемента.

Знайдемо еквівалентну передавальну функцію  $W_{\text{екв}}(p)$  при послідовному з'єднанні елементів. Для цього розглянемо схему, яка складається з двох послідовно з'єднаних функцій, показану на рис. 1.2.

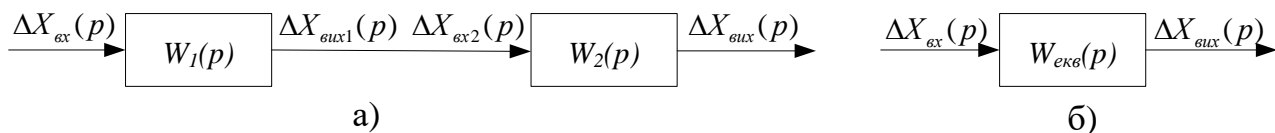


Рисунок 1.2 – Структурні схеми:

а) послідовне з'єднання елементів, б) еквівалентна передавальна функція

Структурна схема еквівалентної передавальної функції показана на рис. 1.2б.

Передавальні функції елементів мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} W_1(p) &= \frac{x_{\text{вих1}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}; \\ W_2(p) &= \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх2}}(p)}; \\ W_{\text{екв}}(p) &= \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Перемноживши праві та ліві частини першої і другої рівності виразу (6), з врахуванням, що  $x_{\text{вх2}}(p) = x_{\text{вих1}}(p)$  (див. рис. 2а), отримаємо:

$$W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{x_{\text{вих1}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} \cdot \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх2}}(p)} = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}.$$

Отже:

$$W_{\text{екв}}(p) = W_1(p) \cdot W_2(p). \quad (7)$$

З виразу (7) можна зробити висновок, що при послідовному з'єднанні елементів їх передавальні функції перемножуються.

$$W_{\text{екв}}(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p) \quad (8)$$

**Паралельне з'єднання елементів** – це такий спосіб з'єднання елементів, коли вхідний сигнал однаковий для всіх елементів, а вихідний сигнал цих елементів сумується. На рис.1.3 показано паралельне з'єднання двох елементів.

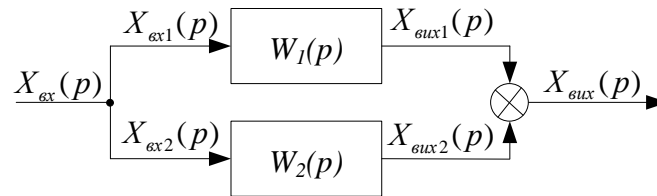


Рисунок 1.3 – Структурна схема паралельно з'єднаних елементів.

Знайдемо еквівалентну передавальну функцію. Із схеми, яка показана на рис. 1.3, видно, що:

$$x_{\text{вих}}(p) = x_{\text{вих1}}(p) + x_{\text{вих2}}(p). \quad (9)$$

З рис.3 видно, що:

$$x_{\text{вх}}(p) = x_{\text{вх1}}(p) = x_{\text{вх2}}(p). \quad (10)$$

Підставимо у рівняння (9) вирази

$$\left. \begin{aligned} x_{\text{вих1}}(p) &= W_1(p) \cdot x_{\text{вх1}}(p); \\ x_{\text{вих2}}(p) &= W_2(p) \cdot x_{\text{вх2}}(p); \\ x_{\text{вих}}(p) &= W_{\text{екв}}(p) \cdot x_{\text{вх}}(p), \end{aligned} \right\}$$

отримаємо

$$W_{\text{екв}}(p) \cdot x_{\text{вх}}(p) = W_1(p) \cdot x_{\text{вх1}}(p) + W_2(p) \cdot x_{\text{вх2}}(p).$$

Отже, з урахуванням виразу (10)

$$W_{\text{екв}}(p) = W_1(p) + W_2(p). \quad (11)$$

З виразу (11) можна зробити висновок, що при паралельному з'єднанні елементів їх передавальні функції додаються.

$$W_{\text{екв}}(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$$

З'єднання за схемою зворотного зв'язку показано на рис. 1.4.

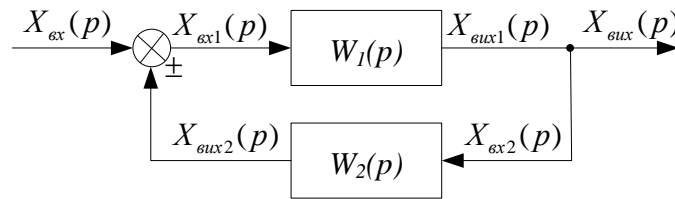


Рисунок 1.4 – З'єднання за схемою зворотного зв'язку.

Знайдемо еквівалентну передавальну функцію  $W_{\text{екв}}(p)$ . З рис. 1.4 видно, що:

$$\left. \begin{aligned} x_{\text{вих}}(p) &= x_{\text{вих1}}(p) = x_{\text{вх2}}(p), \\ x_{\text{вх1}}(p) &= x_{\text{вх}}(p) \mu x_{\text{вих2}}(p). \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

З урахуванням виразів

$$\left. \begin{aligned} W_1(p) &= \frac{x_{\text{вих1}}(p)}{x_{\text{вх1}}(p)}, \\ W_2(p) &= \frac{x_{\text{вих2}}(p)}{x_{\text{вх2}}(p)}, \\ W_{\text{екв}}(p) &= \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)}, \end{aligned} \right\}$$

після певних перетворень, можна записати, що

$$\begin{aligned} W_{\text{екв}}(p) &= \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх}}(p)} = \frac{x_{\text{вих}}(p)}{x_{\text{вх1}}(p) \pm x_{\text{вих2}}(p)} = \frac{x_{\text{вих}}(p)/x_{\text{вх1}}(p)}{1 \pm x_{\text{вих2}}(p) \cdot x_{\text{вих}}(p) / x_{\text{вх1}}(p) \cdot x_{\text{вих}}(p)} = \\ &= \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p) \cdot W_2(p)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Знак “+” ставиться, коли зворотний зв’язок від’ємний, а знак “-” – коли зворотний зв’язок додатний.

### 1.3. Перенесення передавальних функцій через вузли сумування та розгалуження сигналів

Розглянемо випадок, коли передавальна функція переноситься через вузол сумування з віткою.

На рис. 1.5а показана вихідна схема, а на рис. 1.5б – перетворена схема, отримана шляхом переносу передавальної функції  $W(p)$  через суматор з віткою у напрямку, протилежному до ходу сигналу.

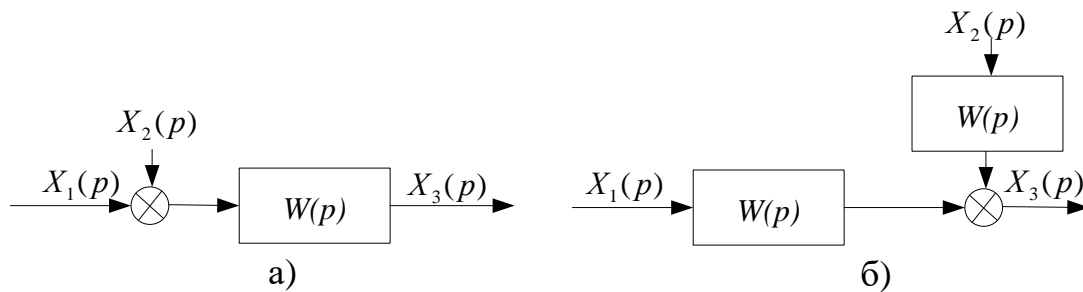


Рисунок 1.5 – Структурні схеми при переносі передавальної функції через вузол сумування з віткою у напрямку, протилежному до ходу сигналу

Для схеми, показаної на рис. 5а, справедливий вираз

$$x_3(p) = (x_1(p) + x_2(p)) \cdot W(p), \quad (14)$$

для перетвореної схеми (рис. 5б)

$$x_3(p) = x_1(p) \cdot W(p) + x_2(p) \cdot W(p). \quad (15)$$

Вирази (14) і (15) однакові. Отже, якщо переносимо передавальну функцію  $W(p)$  через суматор з віткою у напрямку протилежному до ходу сигналу, то у вітку необхідно ввести елемент з передавальною функцією  $W(p)$ .

На рис. 6а показана вихідна схема, а на рис. 1.6б – перетворена, отримана шляхом переносу передавальної функції через суматор з віткою у напрямку за ходом сигналу.

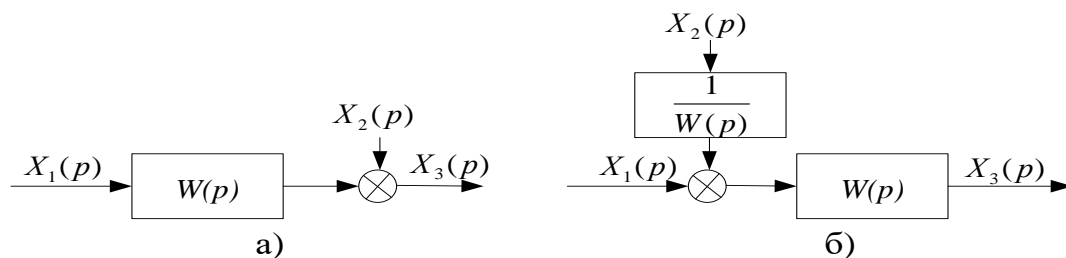


Рисунок 1.6 – Структурні схеми при переносі передавальної функції через вузол сумування з віткою у напрямку за ходом сигналу.

З рис. 1.6а видно, що

$$x_3(p) = x_1(p) \cdot W(p) + x_2(p); \quad (16)$$

з рис. 1.6б

$$x_3(p) = \left( x_1(p) + x_2(p) \cdot \frac{1}{W(p)} \right) \cdot W(p). \quad (17)$$

Вирази (16) і (17) однакові. Отже, якщо переносимо передавальну функцію через суматор з віткою у напрямку за ходом сигналу, то у вітку необхідно ввести елемент з передавальною функцією  $\frac{1}{W(p)}$ .

Перейдемо до перетворень структурних схем шляхом переносу передавальної функції через вузол розгалуження. Вихідна схема показана на рис. 1.7а, а перетворена, отримана завдяки переносу передавальної функції через вузол розгалуження у напрямку, протилежному до ходу сигналу – на рис. 1.7б.



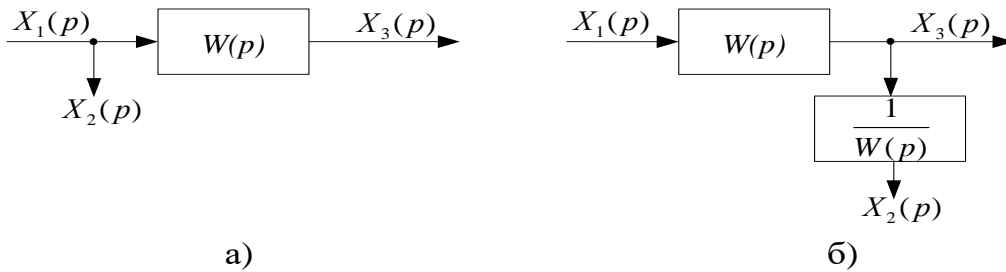


Рисунок 1.7 – Структурні схеми при переносі передавальної функції через вузол розгалуження у напрямку, протилежному до ходу сигналу.

Для схеми, показаної на рис. 1.7а, справедливий вираз

$$\left. \begin{aligned} x_3(p) &= W(p) \cdot x_1(p); \\ x_1(p) &= x_2(p); \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

для перетвореної схеми (рис. 1.7б)

$$\left. \begin{aligned} x_3(p) &= W(p) \cdot x_1(p); \\ x_2(p) &= W(p) \cdot \frac{1}{W(p)} \cdot x_1(p); \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Вирази (18) і (19) однакові. Отже, при переносі передавальної функції через вузол розгалуження в напрямку, протилежному до ходу сигналу у вітку, через яку переносимо, вводиться зворотна передавальна функція.

На рис. 1.8а показана вихідна схема, а на рис. 1.8б – перетворена, отримана завдяки переносу передавальної функції  $W(p)$  через вузол розгалуження у напрямку за ходом сигналу.

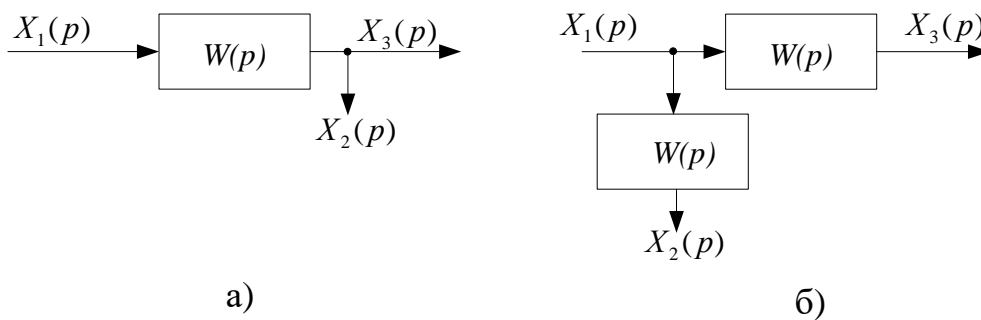


Рисунок 1.8 – Структурні схеми при переносі передавальної функції через вузол розгалуження у напрямку за ходом сигналу

Для двох схем, показаних на рис. 1.7, справедливі співвідношення

$$\left. \begin{aligned} x_3(p) &= W(p) \times x_1(p) \\ x_2(p) &= W(p) \times x_1(p) \end{aligned} \right\}$$

що вказує на правильність виконаного структурного перетворення.

Отже, при переносі передавальної функції через вузол розгалуження у напрямку ходу сигналу, аналогічну передавальну функцію необхідно ввести у вітку, через яку переносимо.

Розглянемо ще деякі правила перетворення структурних схем.

1. Якщо два суматори знаходяться поряд і між ними немає ніякого елемента, то ці суматори можна поміняти місцями.

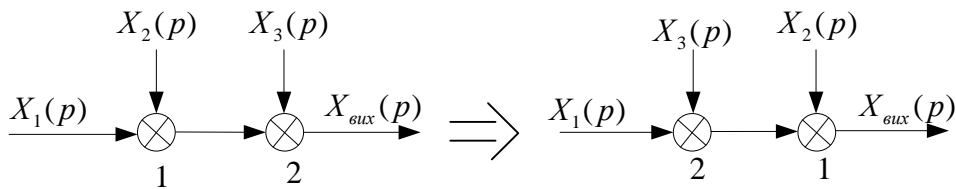


Рисунок 1.9 – Вітки із суматорами

2. Якщо дві вітки знаходяться поряд і між ними немає ніякої ланки, то ці вітки можна поміняти місцями.

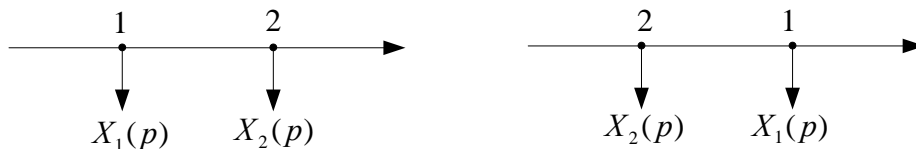


Рисунок 1.10 – Вузли з вітками

3. При перенесенні передавальної функції або вузла сумування через вузол розгалуження в напрямку ходу інформації, аналогічну передавальну функцію або вузол сумування необхідно передбачити у всіх вітках.

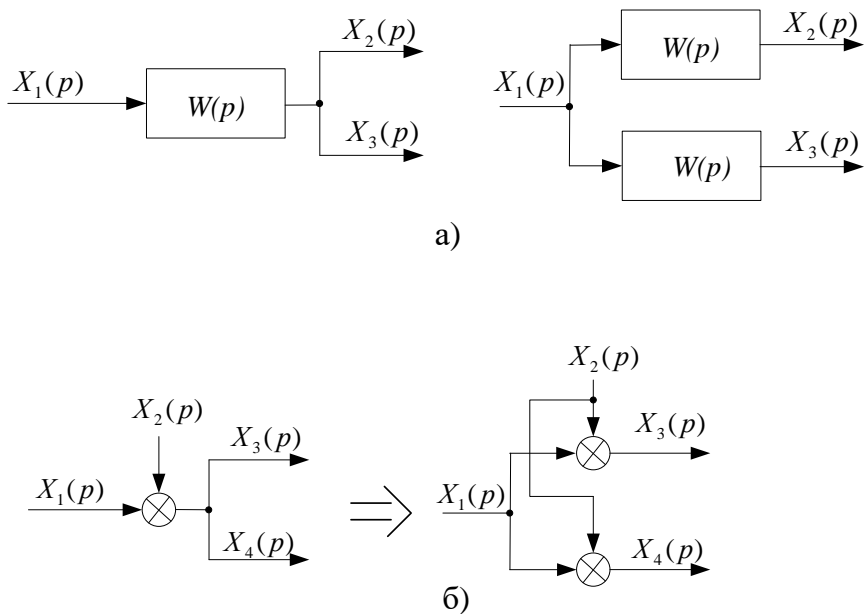


Рисунок 1.11 – Перенесення передавальної функції (а) або вузла сумування (б) через вузол розгалуження в напрямку ходу інформації

4. При перенесені передавальної функції або вузла сумування через вузол розгалуження в напрямку, протилежному до ходу інформації, в решті віток необхідно передбачити зворотні передавальні функції або вузли сумування з протилежними знаками.

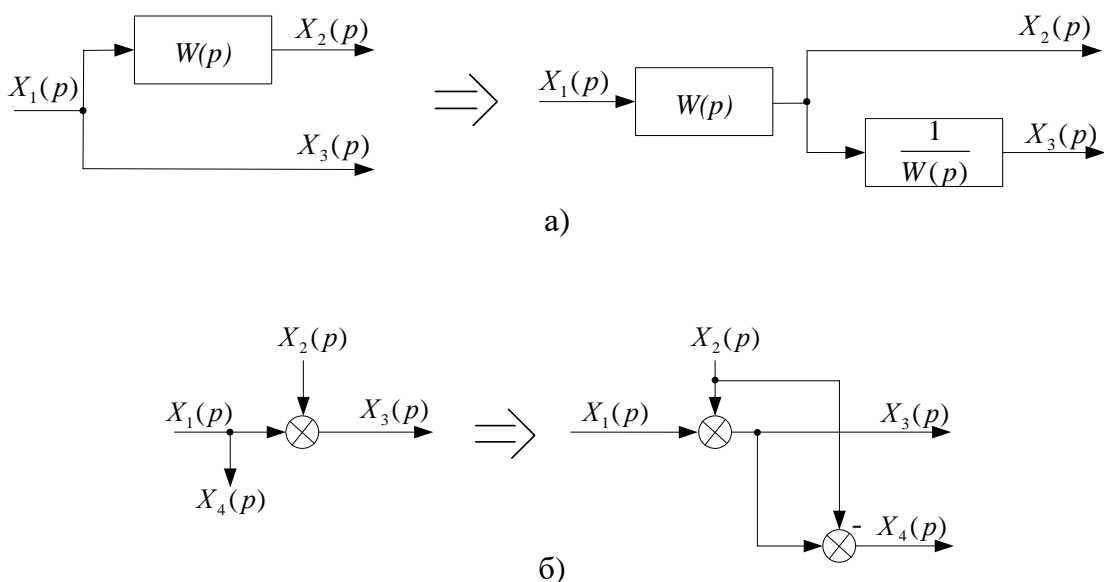


Рисунок 1.12 – Перенесення передавальної функції (а) або вузла сумування (б) через вузол розгалуження в напрямку, протилежному до ходу інформації

Примітка. При зведенні структурної схеми до еквівалентної, використовувати 3 і 4 правило перетворення не бажано, оскільки це значно ускладнює еквівалентну схему, що суперечить самі логіці зведення до простої схеми з якою в подальшому можна працювати.

*Питання для самопідготовки*

- 1. Що таке елемент системи керування?*
- 2. Які способи з'єднання елементів Ви знаєте?*
- 3. Вузли з'єднання елементів, їх властивості?*
- 4. Правила перенесення суматорів.*

## 2. РЕГУЛЯТОРИ

Важливим завданням для САК є регулювання координат об'єкта із заданою точністю за певним алгоритмом роботи. Для забезпечення цієї мети необхідний цілий комплекс елементів, що реалізують типові функції керування. До таких елементів насамперед відносяться регулятори, які здійснюють перетворення сигналу згідно з математичними операціями, необхідними для регулювання відповідної координати об'єкта. Основною складовою частиною регуляторів є операційні підсилювачі (ОП) постійною струму.

### 2.1. Операційні підсилювачі

#### 2.1.1. Структура операційних підсилювачів

Операційний підсилювач - це модульний багатоканальний підсилювач з диференційним входом. За своїми властивостями він наближається до ідеального, що характеризується:

- безмежно великим коефіцієнтом підсилення за напругою ( $k_u \rightarrow \infty$ );
- безмежно великим вхідним опором ( $Z_{вх} \rightarrow \infty$ );
- нульовим значенням вихідного опору ( $Z_{вих} = 0$ );
- нульовим значенням вихідної напруги при закороченому вході ( $U_{вих} = 0$ );
- необмеженою шириною смуги пропускання ( $f \rightarrow \infty$ ).

Практично ні одна з цих властивостей повністю не досягається, але в більшості випадків кожна з них може наближатись до ідеальної з достатньою точністю, необхідною для виконання розрахунків. Як видно із еквівалентної схеми (рис. 2.1), ОП має два основні входи: інвертуючий, який позначається знаком “-”, і неінвертуючий, який позначається знаком “+”, та один вихід.

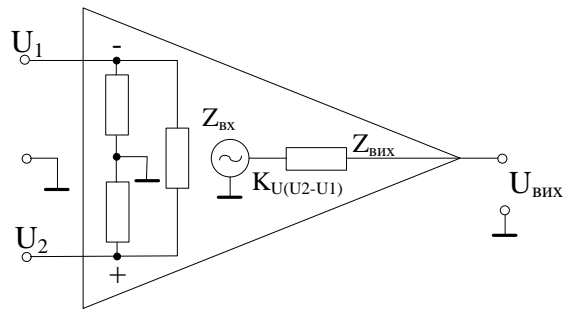


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема операційного підсилювача

При роботі ОП у лінійному режимі вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  зростає із зменшенням напруги на інвертуючому вході “-”  $U_1$  і при збільшенні її на неінвертуючому вході “+”  $U_2$ . Різницю напруг на входах ОП  $U_2 - U_1$  називають диференціальним входним сигналом, а півсуму  $(U_2 + U_1)/2$  – синфазним входним сигналом. Блок-схема ОП показана на рис. 2.2.

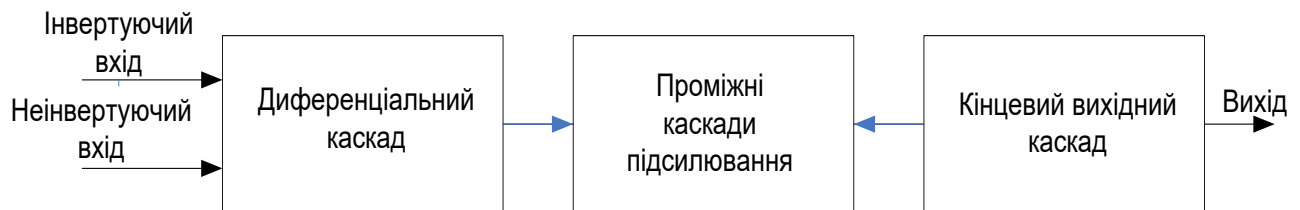


Рисунок 2.2 – Блок-схема ОП

Перший каскад - диференціальний підсилювач (ДП). Він має великий коефіцієнт підсилення відносно диференціальних входних сигналів і низький – до синфазних. Крім того, ДП має високоомний вхід відносно довільних, поданих на його входи, сигналів.

Проміжних каскадів підсилення може бути декілька. Вони забезпечують вихідну напругу спокою ОП, близькою до нуля, а також підсилення за струмом і напругою. Послідовне включення проміжних каскадів забезпечує високий коефіцієнт підсилення за напругою  $k_u$ , а також необхідний струм для роботи вихідного каскаду.

Вихідний каскад забезпечує низький вихідний опір ОП і струм, необхідний для живлення заданого навантаження.

### **2.1.2. Основні параметри операційних підсилювачів**

- коефіцієнт підсилення за напругою  $k_u$  – коефіцієнт підсилення без зворотного зв'язку, який дорівнює декільком тисячам;
- вихідна напруга зсуву
- вхідний струм зміщення ( $I_{зм}$ ) - це струм, необхідний для забезпечення роботи вхідного каскаду ОП;
- вхідний струм зсуву ( $I_{зсв}$ ) - це різниця струмів зміщення вхідних транзисторів ОП, яка з'являється через неузгодження коефіцієнтів підсилення за струмом ( $\beta$ ) вхідних транзисторів.  $I_{зсв} = I_{зм1} - I_{зм2}$ , де  $I_{зм1}$  – струм, необхідний для живлення транзистора на інвертуючому вході;  $I_{зм2}$  – струм, необхідний для живлення транзистора на неінвертуючому вході;
- вхідний опір ( $R_{вх}$ ) - це опір підсилювача відносно вхідною сигналу. Його величина може становити від 1 МОм до сотень МОм;
- вихідний опір ( $R_{вих}$ ) - це внутрішній опір підсилювача, який не перевищує декількох сотень Ом;
- вхідна ємність ( $C_{вх}$ ) - це ємність між входами і землею;
- максимальна швидкість наростання вихідної напруги ( $V_u$ ) - це максимальна швидкість зміни вихідної напруги, яка вимірюється у В/мкс;
- коефіцієнт послаблення синфазних сигналів ( $k_{сф}$ ) – це відношення коефіцієнта підсилення за напругою  $k_u$  до коефіцієнта передачі синфазного сигналу;
- частотна смуга визначається частотою одиничного підсилення ( $f_1$ ), тобто частотою, при якій коефіцієнт підсилення, зменшуючись, досягає одиниці. Значення  $f_1$  від десятих часток МГц до декількох десятків МГц;
- струм споживання ( $I_{ж}$ ) - струм, який споживає ОП без навантаження;

- потужність споживання ( $P_{ж}$ ) - потужність, яку споживає ОП (без навантаження).

Гранично допустимі значення:

- максимальна потужність розсіювання ( $P_{max}$ );
- максимальна напруга живлення ( $+U_{ж}, -U_{ж}$ );
- максимальна різниця вхідних напруг (на інвертуючому і неінвертуючому входах);
- максимальна напруга синфазних вхідних сигналів ( $U_{вх.сф}$ );
- вихідний струм ( $I_{вх}$ ) - визначається мінімальним значення опору навантаження.

На рис. 2.3 показано умовні позначення ОП.

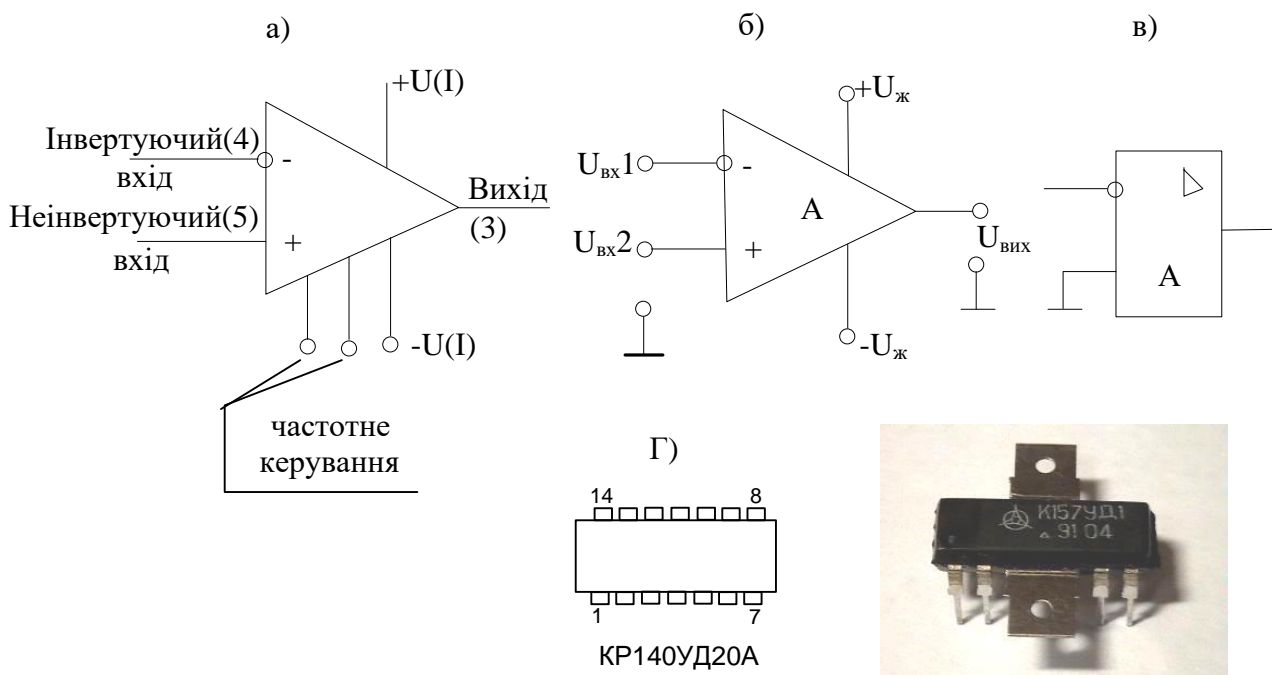


Рисунок 2.3 – Умовні позначення ОП на схемах: принципівих (а); електричних (б); структурних (в); конструкція деяких типів корпусів мікросхеми: прямокутні (г).

Виводи і умовні позначенні ОП (на рис. 15):

- (1) –  $+U_{ж}, -U_{ж}$ . Виводи для підключення напруги живлення;



(2) – частотне корегування (виводи стабілізації затримки або зсуву сигналу);

(3) – вихід, з якого знімається підсилений сигнал;

(4) – інвертуючий вхід. Якщо неінвертуючий вхід заземлений, а на інвертуючий подати сигнал, то на виході одержимо сигнал, зсунутий по фазі на  $180^\circ$ ;

(5) – неінвертуючий вхід. Якщо інвертуючий вхід заземлений, а на неінвертуючий подати сигнал, то сигнал на виході буде синфазний із вхідним сигналом.

Згідно з класифікацією за ГОСТ 4.456-86 ОП поділяються на:

– універсальні (загального застосування), у яких  $k_u = 10^3 \dots 10^5$ ;  $f_1 = 1,5 \dots 10$  МГц;

– прецизійні (інструментальні), у яких  $k_u > 0,5 \cdot 10^6$  і з гарантованими малими рівнями зміщення  $U_{зм} \leq 0,5$  мВ і дрейфу;

– швидкодіючі, у яких швидкість наростання вихідної напруги  $V_u > 20$  В/мкс;

– мікропотужні, у яких струм споживання  $I_{ж} < 1$  мА;

– потужні, у яких струм навантаження  $I_{вих}$  до 1 А;

– багатоканальні, в одному корпусі яких змонтовано декілька ОП.

Схеми використання операційних підсилювачів показано на рис. 2.4.

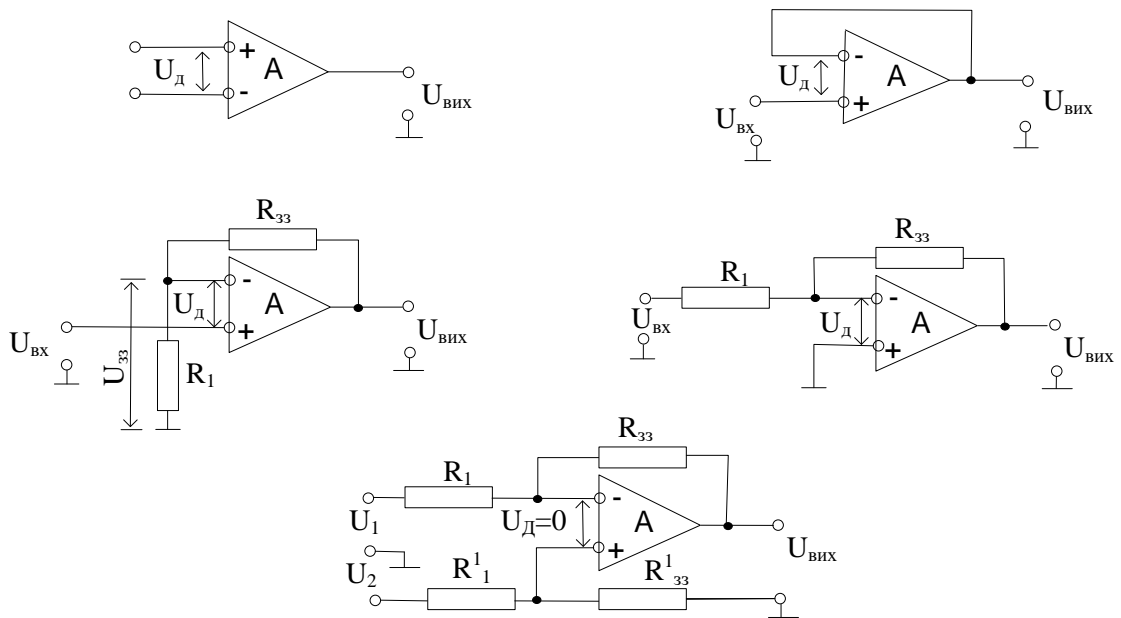


Рисунок 2.4 – Схеми використання ОП

## 2.2. Загальна схема і передавальна функція регулятора

Для побудови різних регуляторів переважно використовується схема включення операційного підсилювача з інверсним входом (рис. 2.5). Необхідні передавальні функції регуляторів можуть бути отримані завдяки комплексним активно-ємнісним опорам у колі зворотного зв'язку і у вхідному колі.

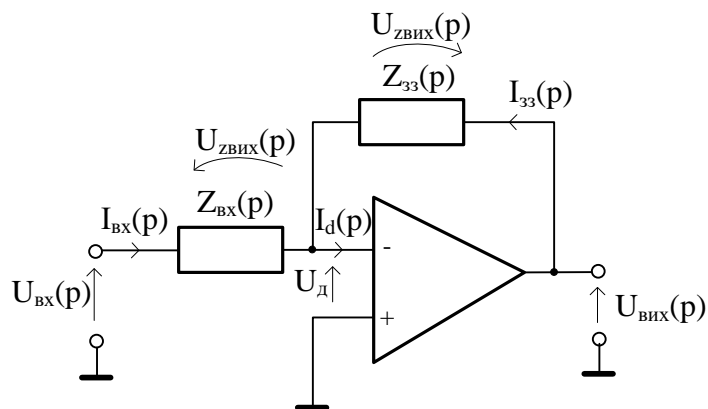


Рисунок 2.5 – Загальна схема регулятора.

Знайдемо передавальну функцію регулятора показаного на рис. 2.5. На основі першого і другого закону Кірхгофа, можна записати:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{ВХ}}(p) + I_{\text{ЗЗ}}(p) - I_0(p) &= 0, \\ U_{\text{ВХ}}(p) - I_{\text{ВХ}}(p)Z_{\text{ВХ}}(p) - U_{\text{Д}}(p) &= 0, \\ U_{\text{ВИХ}}(p) - I_{\text{ЗЗ}}(p)Z_{\text{ЗЗ}}(p) - U_{\text{Д}}(p) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

де  $Z_{\text{ЗЗ}}(p)$  – комплексний активно-ємнісний опір у колі зворотного зв'язку;

$Z_{\text{ВХ}}(p)$  – комплексний активно-ємнісний опір у вхідному колі.

В ідеального підсилювача  $k_u \rightarrow \infty$ , тоді  $U_{\text{Д}} \rightarrow 0$ ;  $R_{\text{ВХ}} \rightarrow \infty$ , тоді  $I_0 \rightarrow 0$ ;  $R_{\text{ВИХ}} \rightarrow 0$ . Отже, можна прийняти, що  $U_{\text{Д}}(p) = 0$ ,  $I_0(p) = 0$ . Отримаємо таку систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} I_{\text{ВХ}}(p) + I_{\text{ЗЗ}}(p) &= 0, \\ U_{\text{ВХ}}(p) - I_{\text{ВХ}}(p)Z_{\text{ВХ}}(p) &= 0, \\ U_{\text{ВИХ}}(p) - I_{\text{ЗЗ}}(p)Z_{\text{ЗЗ}}(p) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

З другого і третього рівнянь знайдемо, що:

$$I_{\text{ВХ}}(p) = \frac{U_{\text{ВХ}}(p)}{Z_{\text{ВХ}}(p)}, \quad (22)$$

$$I_{\text{ЗЗ}}(p) = \frac{U_{\text{ВИХ}}(p)}{Z_{\text{ЗЗ}}(p)}. \quad (23)$$

Підставивши вирази (22) і (23) у перше рівняння системи рівнянь (21), отримаємо:

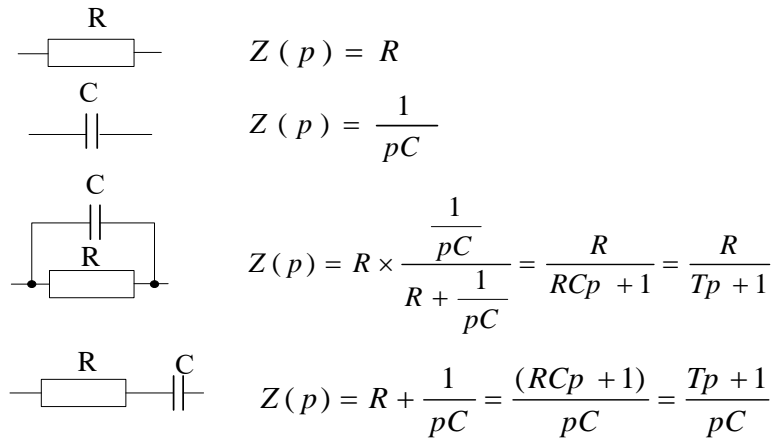
$$\frac{U_{\text{ВХ}}(p)}{Z_{\text{ВХ}}(p)} = -\frac{U_{\text{ВИХ}}(p)}{Z_{\text{ЗЗ}}(p)} \quad (24)$$

З виразу (24) знайдемо передавальну функцію регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = \frac{U_{\text{ВИХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = -\frac{Z_{\text{ЗЗ}}(p)}{Z_{\text{ВХ}}(p)}. \quad (25)$$

Знак “–” вказує на інвертування вихідної напруги.

Нижче наведені формальні співвідношення для запису опорів в операторній формі, які необхідно використовувати для визначення передавальних функцій регулятора:



Добуток RC має розмірність "с" (секунда), тобто  $T = RC$  - стала часу.

### 2.2.1. Пропорційний регулятор (П-регулятор)

П-регулятор утворюється при включеннях активних опорів у вхідне коло і коло зворотного зв'язку і являє собою підсилювач із жорстким зворотним зв'язком. Тобто:  $Z_{вх}(p) = R_{вх}$ ,  $Z_{з.з}(p) = R_{з.з}$  (рис. 2.6а). Тоді передавальна функція П-регулятора має вигляд:

$$W_{\Pi}(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)} = -\frac{Z_{зз}(p)}{Z_{вх}(p)} = -\frac{R_{зз}}{R_{вх}} = -K_{\Pi}.$$

де  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт підсилення регулятора.

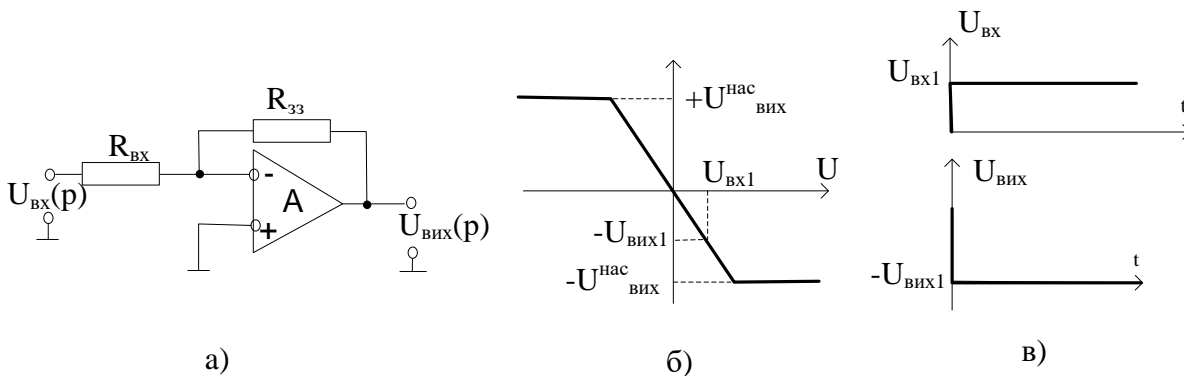


Рисунок 2.6 – Пропорційний регулятор (П-регулятор):

а) – схема регулятора; б) – статична характеристики; в) – перехідна характеристика

Статична характеристика регулятора має вигляд, показаний на рис. 2.6б. Як видно з цього рисунка, лінійна залежність зберігається в межах лінійної ділянки статичної характеристики

$$|U_{\text{вих}}(p)| = K_{\Pi} \cdot |U_{\text{вх}}(p)|.$$

Вихідна напруга цієї схеми  $U_{\text{вих}}^{\text{нас}}$  визначається напругою живлення. При  $U_{\text{ж}} = \pm 15 \text{ В}$ ,  $U_{\text{нас}}^{\text{max}} \approx 14 \text{ В}$ . Лінійна зона характеристики  $U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$  залежить також від напруги живлення. При  $U_{\text{ж}} = \pm 15 \text{ В}$  вихідна напруга змінюється в межах  $U_{\text{вих}} = \pm 10 \text{ В}$ .

На рис. 2.6в показана перехідна характеристика  $\Pi$ -регулятора. Якщо прийняти, що  $U_{\text{вх}} = U_{\text{вх1}} = \text{const}$ , тоді

$$|U_{\text{вих1}}(p)| = K_{\Pi} \cdot |U_{\text{вх1}}(p)|. \quad (26)$$

### 2.2.2. Інтегральний регулятор (I-регулятор)

Інтегральний регулятор утворюється, якщо у коло зворотного зв'язку включити конденсатор ( $Z_{33}(p) = \frac{1}{C_{3.3}p}$ ), а у вхідне коло – резистор ( $Z_{\text{вх}}(p) = R_{\text{вх}}$ ) (див рис. 2.7а). З урахуванням цього, передавальна функція регулятора буде мати вигляд:

$$W_i(p) = \frac{U_{\text{вих}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = -\frac{Z_{33}(p)}{Z_{\text{вх}}(p)} = -\frac{1}{C_{3.3}R_{\text{вх}}p} = -\frac{1}{T_I p}, \quad (27)$$

де  $T_I = R_{\text{вх}}C_{3.3}$  – стала часу інтегрування.

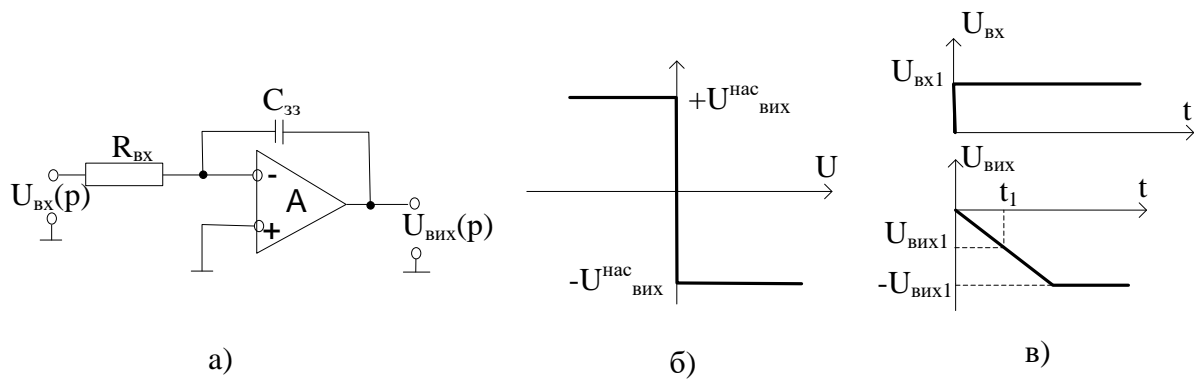


Рисунок 2.7 – Інтегральний регулятор (І-регулятор):

а) – схема регулятора; б) – статична характеристика; в) – перехідна характеристика

Статичну характеристику (рис. 2.7б) можна отримати із (27), якщо записати:

$$U_{\text{вих}}(p) = -\frac{1}{T_I p} U_{\text{вх}}(p), \quad (28)$$

В статичному режимі  $t \rightarrow \infty$ ,  $p \rightarrow 0$ , тоді усталене значення  $U_{\text{вих}} \rightarrow \infty$ . При нульових початкових умовах  $U_{\text{вх}} = 0$ ,  $U_{\text{вих}} = 0$ . Практично забезпечити умову  $U_{\text{вих}} = 0$  є неможливо, оскільки в ідеального ОП  $k_u \rightarrow \infty$  і тому вихідна напруга  $U_{\text{вих}}$  змінюється в межах  $\pm U_{\text{вих}}^{\text{нас}}$ .

Перехідну характеристику (рис. 2.7в) можна отримати із виразу (28), якщо перейти у часову залежність. Для цього необхідно здійснити зворотне перетворення Лапласа. Замінивши  $1/p \Rightarrow \int$  і взяти неозначений інтеграл. Тоді:

$$U_{\text{вих}}(t) = -\left( \frac{t}{T_I} U_{\text{вх}}(t) + U_{\text{вих}}(0) \right), \quad (29)$$

Підставивши  $U_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх1}} = \text{const}$  і якщо прийняти, що  $U_{\text{вих}}(0) = 0$ , можна записати:

$$U_{\text{вих}}(t_1) = -\frac{t_1}{T_I} U_{\text{вх}}(t_1), \quad (30)$$

Із перехідної характеристики можна визначити сталу часу регулятора  $T_I$ . Вона визначає нахил кривої. На основі (30) і рис. 2.7в можна записати:

$$T_I = t_1 \frac{U_{вх1}}{U_{вих1}},$$

де  $T_I$  дорівнює часу  $t_1$ , коли вихідна напруга досягає вхідної при нульових початкових умовах.

На рис. 2.8 показано роботу І-регулятора при різних вхідних сигналах.

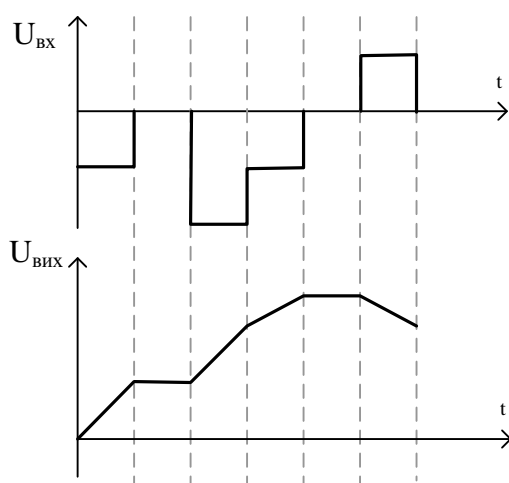


Рисунок 2.8 – Перехідні характеристики І-регулятора

### 2.2.3. Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор)

ПІ-регулятор утворюється, якщо у коло зворотного зв'язку ОП включити послідовно з'єднані резистор і конденсатор, а у вхідне - резистор (рис. 2.9а). Для цієї схеми:

$$Z_{3.3}(p) = R_{3.3} + \frac{1}{C_{3.3}p}, \quad Z_{вх}(p) = R_{вх}. \quad (31)$$

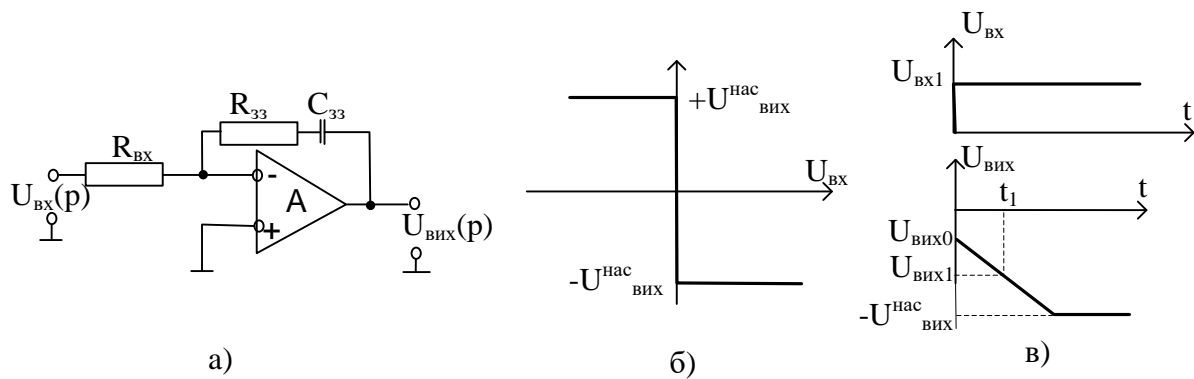


Рисунок 2.9 – Пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ-регулятор):  
 а) - схема регулятора; б) - статична характеристика; в) - перехідна характеристика

Підставивши вирази (31) у (25), отримаємо:

$$W_{\text{ПІ}}(p) = \frac{U_{\text{ВІХ}}(p)}{U_{\text{ВХ}}(p)} = -\frac{Z_{33}(p)}{Z_{\text{ВХ}}(p)} = -\frac{\left(R_{3.3} + \frac{1}{C_{3.3}p}\right)}{R_{\text{ВХ}}}. \quad (32)$$

Вираз (32) можна перетворити двома способами. Перший спосіб зводиться до передавальної функції

$$W_{\text{ПІ}}(p) = -\frac{(T_1 p + 1)}{T_{\text{І}} p}. \quad (33)$$

де  $T_1 = R_{3.3} C_{3.3}$ ,  $T_{\text{І}} = R_{\text{ВХ}} C_{3.3}$  – сталі часу.

Другий

$$W_{\text{ПІ}}(p) = -\left(K_{\text{п}} + \frac{1}{T_{\text{І}} p}\right), \quad (34)$$

де  $K_{\text{п}}$  – коефіцієнт підсилення регулятора.

З виразу (34) видно, що передавальна функція регулятора містить дві складові: пропорційну і інтегральну. Звідси і походить назва регулятора ПІ-регулятор.



Оскільки регулятор містить інтегральну складову, то його властивості у статичному режимі такі самі, як і у І-регулятора (рис. 2.9б).

Для побудови перехідної характеристики необхідно перейти від операторної форми запису до часової, шляхом зворотного перетворення Лапласа. Отримаємо:

$$U_{\text{вих}}(t) = -\left( K_{\text{п}} U_{\text{вх}}(t) + \frac{1}{T_{\text{і}}} \int U_{\text{вх}}(t) dt \right), \quad (35)$$

Якщо прийняти, що  $U_{\text{вх}}(t) = U_{\text{вх1}} = \text{const}$ , то в момент часу  $t_1$  одержимо:

$$U_{\text{вих}}(t_1) = -\left( K_{\text{п}} U_{\text{вх1}} + \frac{t_1 U_{\text{вх1}}}{T_{\text{і}}} + U_{\text{вих}}(0) \right), \quad (36)$$

Для нульових початкових умов  $U_{\text{вих}}(0) = 0$  вираз (36) запишеться таким чином:

$$U_{\text{вих}}(t_1) = -\left( K_{\text{п}} U_{\text{вх1}} + \frac{t_1 U_{\text{вх1}}}{T_{\text{і}}} \right), \quad (37)$$

Вираз (37) можна було отримати шляхом додавання виразу пропорційної (26) і інтегральної складової (30).

Перехідна характеристика, яка відповідає виразу (37), показана на рис. 2.9в. Перший член у правій частині (37) дає початковий стрибок напруги  $U_{\text{вих0}}$ , а другий – подальше лінійне наростання до  $U_{\text{вих1}}$ . Якщо з входу регулятора не зняти напругу, то регулятор увійде в насичення  $U_{\text{вих}}^{\text{нас}}$ . З виразу (20) можна визначити параметри ПІ-регулятора:

$$T_{\text{і}} = \frac{t_1 U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих1}} - U_{\text{вих0}}}, \quad U_{\text{вих0}} = K_{\text{п}} U_{\text{вх1}}. \quad (38)$$

ПІ-регулятор можна реалізувати на трьох операційних підсилювачах (рис. 2.10): на А1 реалізований інтегратор; на А2 – пропорційний регулятор; на А3 – суматор (пропорційний регулятор з коефіцієнтом підсилення  $K_{\Pi} = 1$ ).

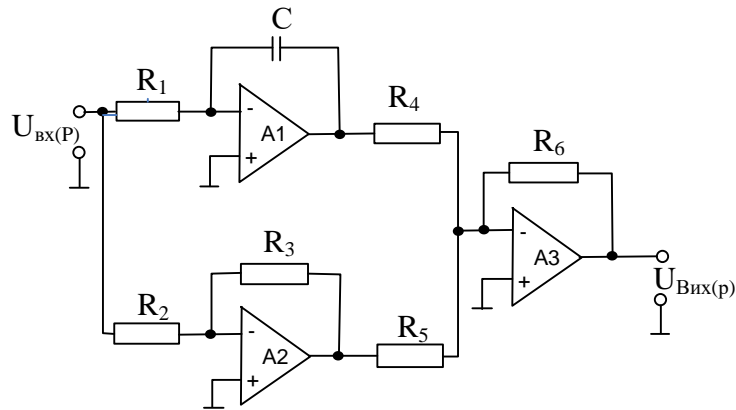


Рисунок 2.10 – Схема ПІ-регулятора на трьох ОП

Такий спосіб реалізації найбільше підходить, коли необхідно змінювати параметри регулятора.

#### 2.2.4. Диференціальний регулятор (Д-регулятор)

Д-регулятор можна реалізувати, якщо у коло зворотного зв'язку ОП включити резистор, а у вхідне – конденсатор (рис. 2.11а).

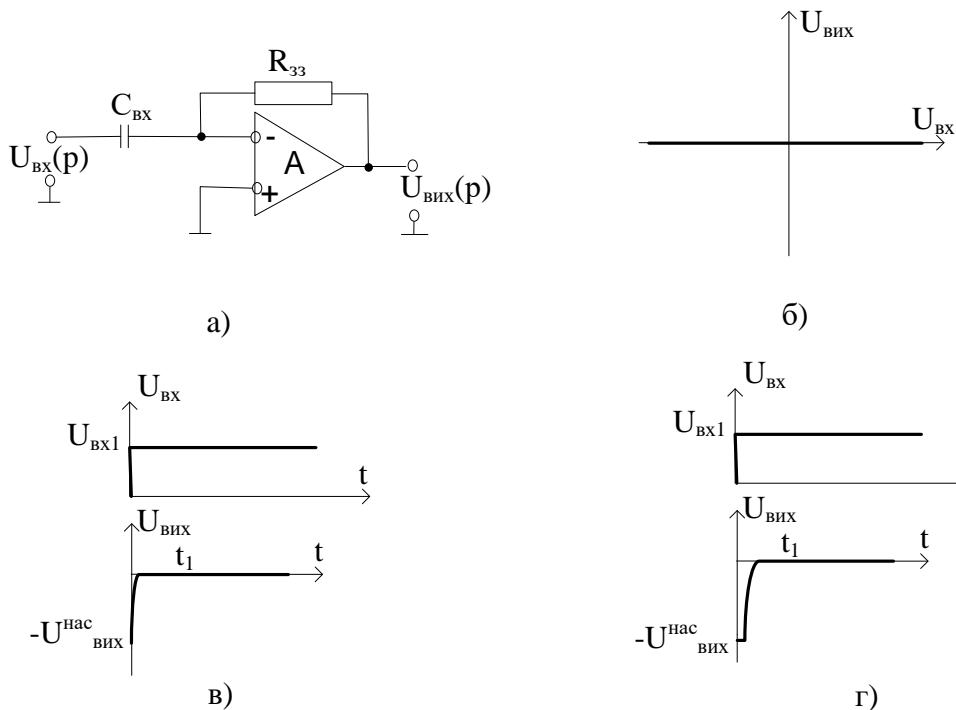


Рисунок 2.11 – Диференціальний регулятор (Д-регулятор):

а) - схема регулятора: б) - статична характеристика;

в, г) - перехідна характеристика

Такий Д-регулятор називається ідеальним і на практиці не використовується, але для наочності доцільно насамперед розглянути саме такий варіант. Підставивши

$$Z_{з.з}(p) = R_{з.з}, \quad Z_{вх}(p) = \frac{1}{C_{вх}p}$$

у вираз (25) запишемо передану функцію регулятора:

$$W_D(p) = \frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)} = -\frac{Z_{зз}(p)}{Z_{вх}(p)} = -R_{з.з}C_{вх}p = T_D p. \quad (39)$$

де  $T_D$  – стала часу диференціювання.

З (39) видно, що для усталеного режиму ( $t \rightarrow \infty, p \rightarrow 0$ ) вихідна напруга дорівнюватиме нулю. Це легко зрозуміти на основі аналізу його схеми. Конденсатор на вході регулятора не пропускає сигналу постійного струму і тому статична характеристика Д-регулятора проходить по осі абсцис (рис. 2.11б).

Перехідна характеристика буде мати вигляд, показаний на рис. 11в. На вхід регулятора, при подачі стрибкоподібної напруги поступає дуже великий сигнал, оскільки опір конденсатора на цей момент близький до нуля. Тому вихідна напруга миттєво зростає до напруги насичення ОП і також миттєво спадає до нуля, тобто вихідна напруга має голкоподібну форму (рис. 2.11в).

Розглянутий варіант Д-регулятора використання не набув з таких причин:

- на роботу регулятора сильно впливають високочастотні перешкоди, для яких  $x_c \cong 0$ ;

– попередній каскад на ОП, який під'єднується до входу ідеального Д-регулятора, у момент різкої зміни напруги зазнає значних перевантажень.

Для усунення цих недоліків послідовно із вхідним конденсатором вмикають резистор  $R_{\text{ВХ}}$  (рис. 2.12).

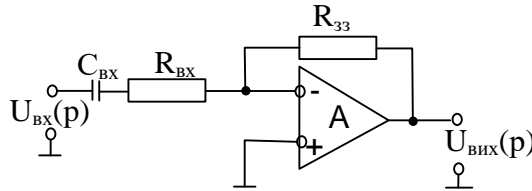


Рисунок 2.12 – Практична схема Д-регулятора (реальний Д-регулятор)

Для цього регулятора

$$Z_{\text{З.З.}}(p) = R_{\text{З.З.}}, \quad Z_{\text{ВХ}}(p) = R_{\text{ВХ}} + \frac{1}{C_{\text{ВХ}}p}. \quad (40)$$

Підставивши вирази (40) у (25), отримаємо передавальну функцію реального Д-регулятора:

$$W_{\text{Д}}(p) = -\frac{R_{\text{З.З.}}C_{\text{ВХ}}p}{R_{\text{ВХ}}C_{\text{ВХ}}p + 1} = -\frac{T_{\text{Д}}p}{T_{\text{Ф}}p + 1}. \quad (41)$$

де  $T_{\text{Ф}} = C_{\text{ВХ}}R_{\text{ВХ}}$  – стала часу фільтра.

Наявність резистора на вході  $R_{\text{ВХ}}$  зменшує навантаження попереднього ОП і обмежує вплив високочастотних перешкод. Перехідна характеристика реального диференціатора буде мати вигляд, показаний на рис. 11г. При подачі на вхід регулятора стрибкоподібного сигналу в момент часу  $t = 0$ , на виході напруга миттєво зростає до напруги насичення ОП і залежно від величини  $T_{\text{Ф}}$ , протягом часу  $t$ , буде спадати до нуля. Чим більша стала часу фільтра  $T_{\text{Ф}}$ , тим скоріше напруга на виході спаде до нуля.

Реальний Д-регулятор можна реалізувати за допомогою пропорційної і інтегральної складових. Структурні схеми такого принципу реалізації показано на рис. 2.13.

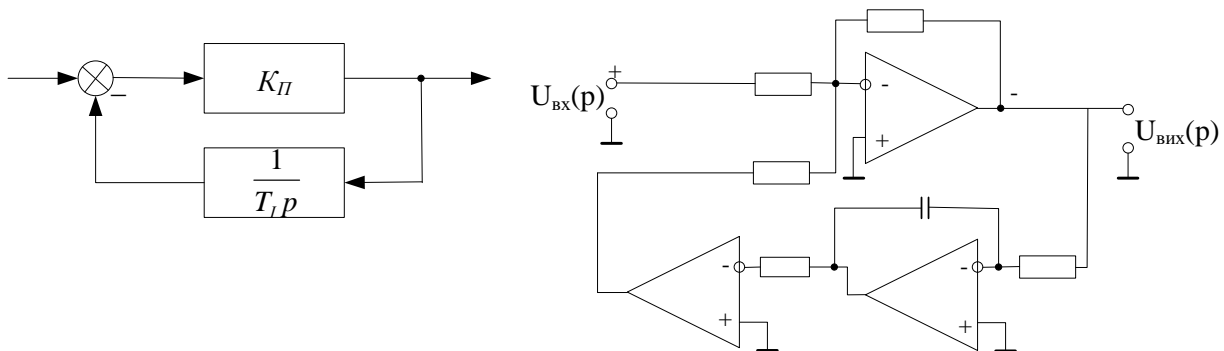


Рисунок 2.13 – Схема реалізації Д-регулятора на пропорційному і інтегральному регуляторах

Передавальна функція такого Д-регулятора, на основі структурних перетворень, буде мати вигляд:

$$W_D(p) = -\frac{W_{A1}(p)}{1 + W_{A1}(p) \cdot W_{A2}(p)}. \quad (42)$$

де  $W_{A1}(p) = K_{\Pi}$  – передавальна функція пропорційного регулятора;

$$W_{A2}(p) = \frac{1}{R_{\text{вх}} C_{3.3} p} \text{ – передавальна функція інтегрального регулятора.}$$

Підставивши вирази  $W_{A1}(p)$  і  $W_{A2}(p)$  у (23), отримаємо:

$$W_D(p) = -\frac{K_{\Pi}}{1 + K_{\Pi} \frac{1}{R_{\text{вх}} C_{3.3} p}} = -\frac{R_{\text{вх}} C_{3.3} p}{R_{\text{вх}} C_{3.3} \frac{1}{K_{\Pi}} p + 1} = -\frac{T_D p}{T_{\phi} p + 1}. \quad (43)$$

де  $T_{\phi} = \frac{R_{\text{вх}} C_{3.3}}{K}$  – стала часу фільтра.

Вирази (41) і (43) ідентичні. Відмінність полягає лише в обчисленні сталої часу фільтра  $T_{\phi}$ . Чим більший коефіцієнт підсилення  $K_{\Pi}$ , тим менша стала часу  $T_{\phi}$ , а отже, скоріше відбувається спадання вихідної напруги до нуля. Як видно з (43), якщо  $K_{\Pi} \rightarrow \infty$ , то реальний регулятор наближається до ідеального. Такий

спосіб побудови Д-регулятора використовують при його реалізації в цифровій формі.

### 2.2.5. Аперіодична ланка першого порядку (А-регулятор)

Аперіодична ланка, або ланка першого порядку реалізовується, якщо у вхідне коло включити резистор, а у коло зворотного зв'язку – паралельно включені конденсатор та резистор. Тоді:

$$Z_{\text{ВХ}}(p) = R_{\text{ВХ}}, \quad Z_{\text{ЗЗ}}(p) = \frac{R_{\text{ЗЗ}}}{R_{\text{ЗЗ}}C_{\text{ЗЗ}}p + 1}. \quad (44)$$

Схема А-регулятора показана на рис. 2.14.

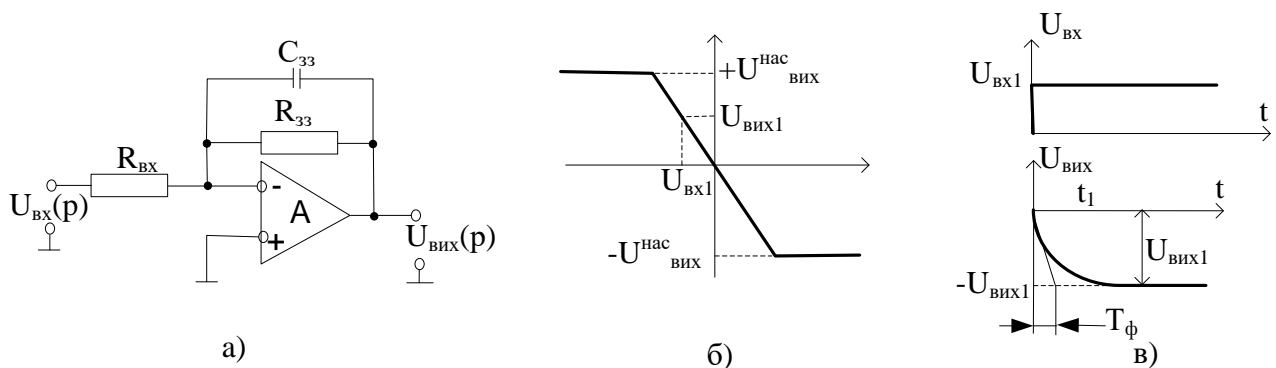


Рисунок 2.14 – Аперіодична ланка (А-регулятор):

а) - схема регулятора; б) - статична характеристика;

в) - перехідна характеристика

Підставивши (44) у (25), отримаємо передавальну функцію А-регулятора.

$$W_{\text{Д}}(p) = -\frac{Z_{\text{ЗЗ}}(p)}{Z_{\text{ВХ}}(p)} = -\frac{R_{\text{ЗЗ}}/R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ЗЗ}}C_{\text{ЗЗ}}p + 1} = -\frac{K_{\text{П}}}{T_{\text{А}}p + 1}. \quad (45)$$

де  $K_{\text{П}} = \frac{R_{\text{ЗЗ}}}{R_{\text{ВХ}}}$  – коефіцієнт підсилення А-регулятора;

$T_{\text{А}} = R_{\text{ЗЗ}}C_{\text{ЗЗ}}$  – стала часу А-регулятора.

Статична характеристика регулятора показана на рис. 2.14б. У статичному режимі А-регулятор має таку саму характеристику, як і П-

регулятор, тому що дія аперіодичного члена не проявляється (при  $t \rightarrow \infty$ ,  $p \rightarrow 0$ ) (рис. 2.14б).

Перехідна характеристика утримується шляхом зворотного перетворення Лапласа виразу (45) у таке рівняння:

$$U_{\text{вих}}(t) = - \left( K_{\text{п}} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T_{\Lambda}}} \right) U_{\text{вх}}(t) + U_{\text{вих}}(0) \right). \quad (46)$$

На рис. 2.14в показана перехідна характеристика А-регулятора побудована на основі рівняння (46), при  $U_{\text{вих}}(0) = 0$ .

*Запитання для самопідготовки*

1. Які основні характеристики операційних підсилювачів ви знаєте?
2. Загальна схема регулятора.
3. Схема і передавальна функція пропорційного регулятора?
4. Схема і передавальна функція інтегруючого регулятора?
5. Схема і передавальна функція пропорційно-інтегруючого регулятора?
6. Схема і передавальна функція диференційного регулятора?
7. Схема і передавальна функція аперіодичного регулятора?

### 3. ДАТЧИКИ

#### 3.1. Датчики постійного струму і напруги

Датчики постійного струму і напруги повинні перетворювати, як і датчики інших типів, контрольовану координату у пропорційний вихідний сигнал. Крім того, ці датчики повинні також забезпечити гальванічну розв'язку між силовим колом і колом керування. Гальванічна розв'язка необхідна для того, щоб запобігти попаданню напруги силового кола (до 1000 В), до якого підключаються ці датчики, у коло керування. Тому що попадання цієї напруги у коло керування може, по-перше, бути небезпечним для обслуговуючого

персоналу при доторканні до органів керування, і, по-друге, можуть вийти з ладу елементи кіл керування, оскільки їх ізоляція відносно корпусу (землі) не розрахована на високу напругу.

Остання функція - гальванічна розв'язка між силовим колом і колом керування, істотно ускладнює реалізацію датчиків. Вона може бути забезпечена завдяки введенню електромагнітного або оптичного зв'язку між входними і вихідними колами датчика. Найбільшого поширення набули датчики з електромагнітним зв'язком. Гальванічну розв'язку в них забезпечує трансформатор.

### 3.1.1. Функціональна схема датчиків струму і напруги

Фактично датчиком струму або напруги є вхідне коло ВК (рис. 3.1), яке перетворює струм  $I$  або напругу  $U$  у пропорційний вхідний сигнал  $U_{ВХ}$ . Але ВК не забезпечує гальванічної розв'язки між сигналами  $I(U)$  і  $U_{ВХ}$ . Цю функцію насамперед виконує датчик. Елементи, що відносяться до датчика, обведені на рис. 1 пунктирною лінією. Модулятор  $M$  перетворює постійну напругу  $U_{ВХ}$ , що поступає від ВК, у напругу змінного струму. Амплітуда цієї напруги пропорційна до напруги  $U_{ВХ}$

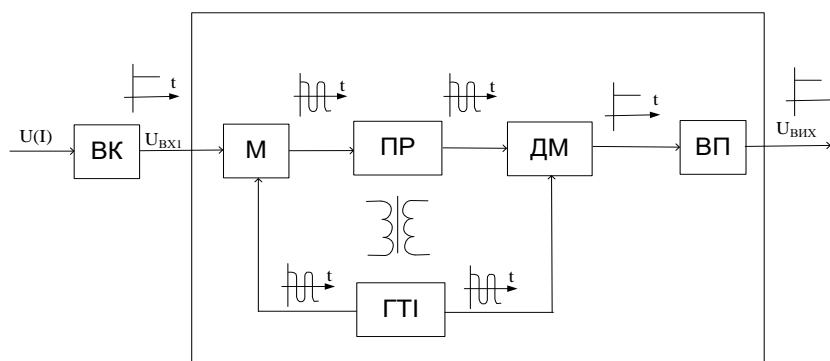


Рисунок 3.1 – Функціональна схема датчиків струму і напруги

Потенціальний розділювач ПР (трансформатор) передає напругу змінного струму з виходу модулятора  $M$  на вхід демодулятора  $ДМ$ . Демодулятор перетворює напругу змінного струму у напругу постійного струму. Амплітуда напруги постійного струму пропорційна до амплітуди напруги змінного струму. Роботою модулятора  $M$  і демодулятора  $ДМ$  керує генератор тактових



імпульсів ПІ. Вихідний підсилювач ВП забезпечує необхідну напругу та потужність на виході датчика. На рис. 1. показані форми напруг на виході вказаних вузлів датчика.

### 3.1.2. Вхідні кола датчиків струму і напруги

Для контролю постійного струму використовують переважно шунти (RS), тобто термостабільні опори. Спад напруги, який виникає внаслідок протікання по них струму, подають на вхід датчика (рис. 3.2).

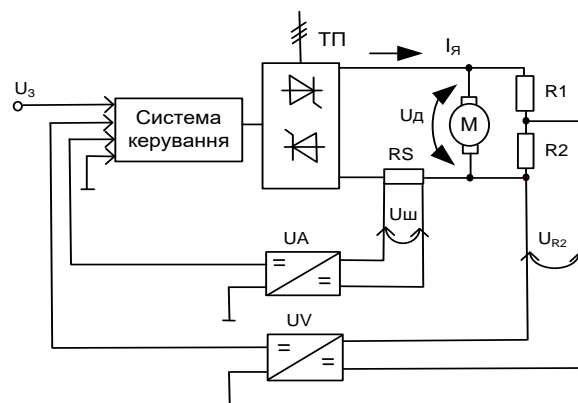


Рисунок 3.2 – Схема підключення датчиків струму і напруги

Шунти характеризуються номінальним струмом  $I_{ШН}$  і номінальним спадом напруги  $U_{ШН}$ , що виникає на шунті при протіканні по ньому струму  $I_{ШН}$ . Ці значення є стандартні. Значення  $I_{ШН}$  лежать в межах від часток ампера до десятків тисяч ампер. Стосовно  $U_{ШН}$ , то найбільшого поширення набули шунти з  $U_{ШН} = 75 \times 10^{-3}$  В. Відношення  $U_{ШН}/I_{ШН} = k_{Ш}$  називають передавальним коефіцієнтом шунта. Таким чином, на вхід датчика струму подається напруга, значення якої лежить в межах  $U_{Ш} \leq U_{ШН}$ .

Напруга у колах постійного струму і, зокрема, напруга  $U_a$  на якорі двигуна (рис.28), може досягати значення 1000 В. Щоб понизити цю напругу до рівня, допустимого для цього датчика, застосовують дільники напруги на резисторах. Якщо знехтувати вхідним опором датчика напруги  $UV$ , то напруга  $U_{R2}$ , що подається на його вхід, дорівнюватиме

$$U_{R2} = U_{д} \frac{R2}{R1 + R2} = U_{д} \alpha_{п}$$

де  $\alpha_{п} = R2 / (R1 + R2)$  - передавальний коефіцієнт дільника напруги.

При цьому повинна виконуватись умова  $U_{maxR2} \leq U_{вх.доп}$ ,

де  $U_{вх.доп}$  - допустима вхідна напруга датчика.

Переважно  $U_{вх.доп} = 10В$ . Оскільки значенню  $U_{maxR2}$  відповідає значення  $U_{maxд}$ , то можна отримати вираз для визначення необхідного передавального коефіцієнта дільника:

$$\alpha_{п} \leq \frac{U_{вх.доп}}{U_{д}^{max}}$$

### **3.1.3. Принцип роботи модулятора та демодулятора**

Модулятор М, потенціальний розділювач ПР і демодулятор ДМ схеми, що зображена на рис. 3.3, можуть бути реалізовані на основі трансформатора ТV (рис. 3.3а), двох пар ключів

Кл.1, Кл.2 та Кл.3, Кл.4. Роботою ключів керує вихідний сигнал генератора тактових імпульсів ГТІ. Ключі модулятора (Кл.1, Кл.2) і демодулятора (Кл.3, Кл.4) замикаються по черзі. Схема, зображена на рис. 3б, відповідає випадку, коли замкнені ключі Кл.1 і Кл.3, а на рис. 3.3, в - коли замкнені ключі Кл.2 і Кл.4.

При замиканні ключів Кл.1 і Кл.3 (рис. 3.3, б) постійна напруга  $U_{вх}$  прикладається до верхньої частини вхідної обмотки трансформатора ТV. Через цю частину обмотки протікає струм, який намагнічує осердя трансформатора. Внаслідок зміни потоку в обмотках наводиться ЕРС самоіндукції

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt}$$

де  $W$  - кількість витків частини обмотки, через яку протікає струм.

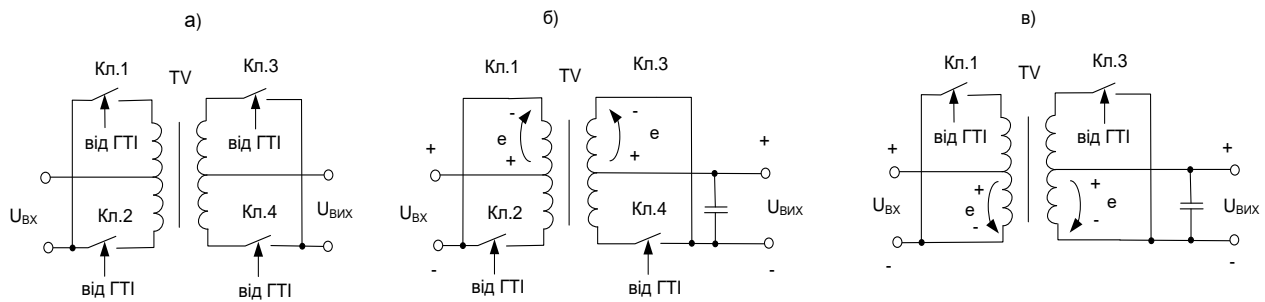


Рисунок 3.3 – Спрощена схема роботи М-ПР-ДМ

Ця ЕРС протилежно спрямована до входної напруги  $U_{ВХ}$  і приблизно дорівнює їй за величиною. ЕРС, наведена у верхній частині обмотки, при цьому передається на вихід.

У разі, коли замкнені ключі Кл.2, Кл.4, тоді входна напруга  $U_{ВХ}$  прикладається до нижньої частини входної обмотки. При цьому осердя TV перемагнічується у протилежний бік, тому в обмотках наводиться ЕРС протилежної полярності. ЕРС, наведена у нижній частині вихідної обмотки, передається на вихід.

Таким чином, як у першій половині періоду, так і у другій, полярність напруги на виході буде однакою.

Для зменшення пульсацій вихідної напруги  $U_{ВИХ}$ , що виникають внаслідок неідеальності роботи ключів, на виході схеми включають конденсатор С. Якщо обмотки трансформатора TV мають однакову кількість витків, то  $U_{ВИХ} = U_{ВХ}$ . Користуючись рис. 3.3б, в, не важко прослідкувати, що при зміні полярності  $U_{ВХ}$ , напруга  $U_{ВИХ}$  теж змінить свою полярність.

Очевидно, що швидкодія датчика залежить від частоти ГТІ. Ця частота вибирається значно більшою від максимальної частоти пропускання силових ланок електроприводу. Тому датчики струму і напруги можна вважати безінерційними. їх передавальні функції відповідно будуть такими:

$$W_{ДС}(p) = k_{ДС}$$

$$W_{ДН}(p) = k_{ДН}$$

Оскільки на вхід датчика струму подається значно менша напруга, ніж на вхід датчика напруги, а їх максимальні вихідні напруги вибираються однаковими, то  $k_{ДС} \gg k_{ДН}$ . Переважно  $k_{ДН} = 1$ .

В деяких випадках враховують постійну часу фільтра  $T_{\phi}$ , утвореного опором вихідного кола і конденсатором на виході демодулятора. Тоді передавальні функції матимуть вигляд

$$W_{ДС}(p) = \frac{k_{ДС}}{1 + T_{\phi}p} \quad W_{ДН}(p) = \frac{k_{ДН}}{1 + T_{\phi}p}$$

### **3.1.4. Огляд інших способів контролю струму**

Якщо двигун постійного струму живиться від тиристорного перетворювача, то завдяки пропорційності між діючими значеннями випрямленого і змінного струму, контроль може здійснюватись на стороні змінного струму. Найпростіше це реалізувати, якщо тиристорний перетворювач нереверсивний (рис. 3.4). Для цієї схеми, очевидно, справедлива така послідовність пропорційного зв'язку між її величинами:

$$U_{ВИХ} \equiv U_R \equiv I_1 \equiv I_{Я}.$$

Якщо тиристорний перетворювач ТП реверсивний, то реалізація схеми ускладнюється тим, що необхідний спеціальний вузол, який би змінював полярність напруги  $U_{ВИХ}$  при зміні напрямку струму  $I_{Я}$ .

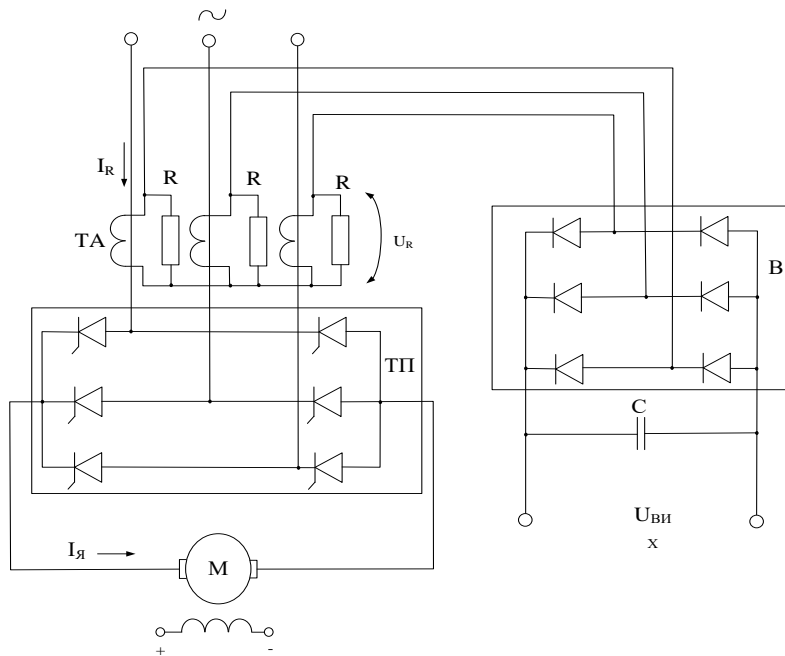


Рисунок 3.4 – Контроль постійного струму двигуна зі сторони змінного струму

Для вимірювання постійного струму використовують також вимірювальні магнітні підсилювачі, які часто називають трансформаторами постійного струму (рис. 3.5). У цій схемі обмоткою керування є шина, по якій протікає струм  $I_{я}$ , що вимірюється. Аналогічно може бути реалізований реверсивний датчик. Недоліком таких датчиків є громіздкість і їх велика стала часу датчика.

Новим типом датчиків є датчики на магнітодіодах. Відомо, що якщо магнітодіод помістити у поперечне магнітне поле, то при зміні напруженості поля на ньому змінюватиметься спад напруги. Магнітодіоди VD1 і VD2 (рис. 3.6) розташовані у щілинах магнітопроводу спеціальної, досить складної конструкції. Через цю конструкцію проходить шина так, що при протіканні по ній струму змінюється індукція у щілинах магнітопроводу.

Внаслідок цього змінюється спад напруги  $U_1$  і  $U_2$  на магнітодіодах. Ці спади подаються на входи диференційного операційного підсилювача DA, який підсилює різницю цих напруг. Потенціометром R1 встановлюється  $U_{вих} = 0$  за відсутності струму.

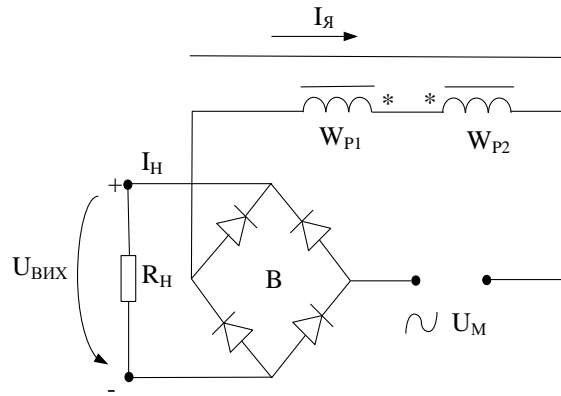


Рисунок 3.5 – Схема трансформатора постійного струму

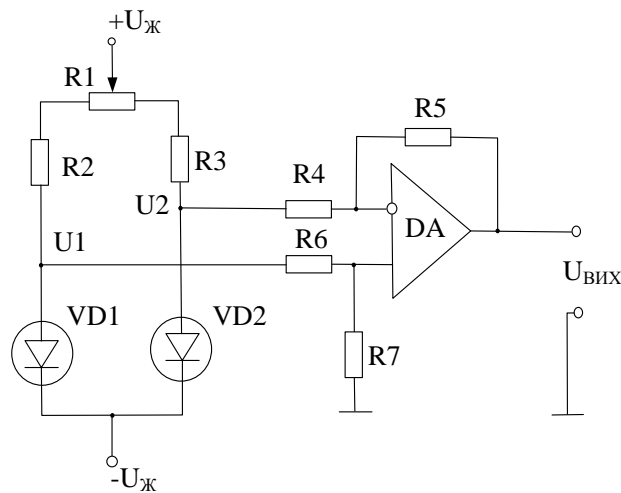


Рисунок 3.6 – Схема датчика струму на магнітодіодах

У цій схемі точність вимірювання залежить значною мірою від стабільності характеристик магнітодіодів, точності їх розташування і від стабільності характеристик магнітопроводу.

### 3.2. Датчик електрорушійної сили

Датчик ЕРС призначений для реалізації зворотного зв'язку за ЕРС двигуна, Відомо, що

$$E_d = k\Phi_d(t).$$

де  $k = \frac{pN}{2\pi a}$  конструктивна стала двигуна.

Якщо  $\Phi_d - const$ , то очевидно, що  $E_d \equiv (t)$ .

Отже, за цієї умови датчик ЕРС може замінити датчик швидкості. Безпосередньо  $E_d$  виміряти не можна, тому її розраховують, використовуючи рівняння напруг на якорі двигуна

$$U_d = E_d + R_{я} I_{я} + L_{я} \frac{dI_{я}}{dt}$$

де  $R_{я}$ ,  $L_{я}$  - відповідно опір і індуктивність кола якоря двигуна.

Звідси

$$E_d = U_d - R_{я} I_{я} - L_{я} \frac{dI_{я}}{dt}$$

В операторній формі це рівняння можна записати так:

$$E_d(p) = U_d(p) - I_{я}(p)R_{я} - R_{я}T_{я}pI_{я}(p), \quad (3.1)$$

де  $T_{я} = L_{я}/R_{я}$  - стала часу кола якоря двигуна.

Згідно з ним рівнянням можна скласти схему (рис. 3.7а). Для контролю напруги  $U_d$  і струму  $I_{я}$  використані, відповідно, датчики напруги ДН і струму ДС. Датчиком ЕРС (ДЕ) є, фактично, суматор на операційному підсилювачі ДА.

Щоб визначити параметри ДЕ рівняння (3.1) запишемо у вигляді

$$E_d(p)\alpha_{пк_{дн}} = U_d(p)\alpha_{пк_{дн}} - I_{я}R_{я}\alpha_{пк_{дн}} \frac{k_{ш}k_{дс}}{k_{ш}k_{дс}} - R_{я}T_{я}\alpha_{пк_{дн}} \frac{k_{ш}k_{дс}}{k_{ш}k_{дс}} pI_{я}(p) \quad (3.2)$$

Рівняння (3.2) враховує передавальні коефіцієнти ланок по каналах вимірювання струму і напруги. На його основі складено структурну схему розрахунку (рис. 37б).

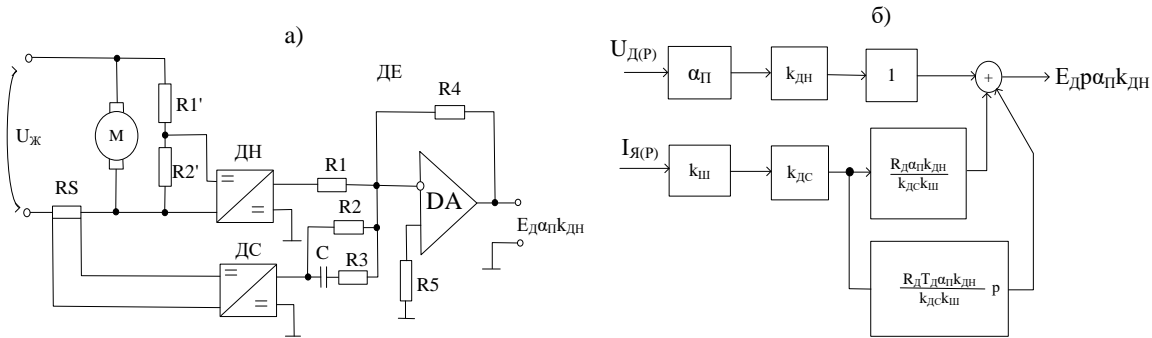


Рисунок 3.7 – Функціональна (а) і структурна (б) схеми датчика ЕРС

Прийmemo, що масштаби сигналів на виходах ДН і ДЕ однакові, тобто  $R1 = R4$ .

$$R2 = \frac{R4 k_{ДС} k_{Ш}}{R_я \alpha_{П} k_{ДН}} \quad R4 \cdot C = \frac{T_я R_я \alpha_{П} k_{ДН}}{k_{ДС} k_{Ш}}$$

Очевидно,  $R4 / R2 = R_я \alpha_{П} k_{ДН} / k_{ДС} k_{Ш}$ .

тоді

$$C = \frac{R_я T_я \alpha_{П} k_{ДН}}{R4 k_{ДС} k_{Ш}}$$

Для зменшення перешкод при диференціюванні застосовується резистор R3. Однак при цьому буде дещо спотворений останній член рівняння (3.2).

Щоб уникнути диференціювання струму якоря і пов'язаних з цим перешкод, рівняння (3.1) можна записати у вигляді

$$\frac{E_d(p)}{T_я p + 1} = \frac{U_d(p)}{T_я p + 1} - I_я(p) R_я \quad (3.3)$$

При цьому вимірювання ЕРС здійснюватиметься з деякою інерційністю, тому що отримуємо сигнал  $E_d(p)/(T_я p + 1)$ , замість  $E_d(p)$ .

Принципова електрична схема для цього випадку показана на рис. 3.8. При цьому  $R4 = 2R1$ , а  $R1C = T_я$ .



Звідки  $C = T_{\text{я}}/R1$  Резистор R2 розраховується аналогічно до попереднього випадку.

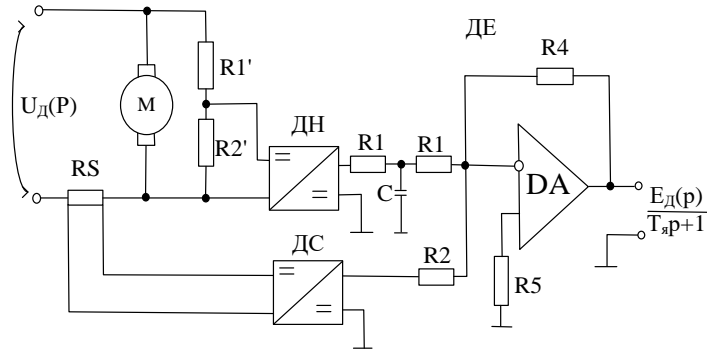


Рисунок 3.8 – Схема датчика ЕРС без ланки диференціювання струму

### 3.3. Датчик активного струму

Необхідність у датчиках активного струму виникає, зокрема, при реалізації замкнених систем регулювання електроприводами з двигунами змінного струму (синхронними і асинхронними). Такі двигуни для мережі є електричним навантаженням, тому при здійсненні ними функцій регулювання і контролю достатньо виміряти струм однієї фази. В умовах, коли зміною напруги мережі можна знехтувати, датчик активного струму перетворюється у датчик активної потужності. Це видно з формули активної потужності трифазної мережі, записаної для діючих значень змінних:

$$P = 3U_{\text{ф}}I_{\text{ф}}\cos\varphi = 3U_{\text{ф}}I_{\text{фа}},$$

де  $U_{\text{ф}}$  - діюче значення фазної напруги;

$I_{\text{ф}}$  - діюче значення фазного струму;

$\varphi$ - кут зсуву між фазною напругою і струмом;

$I_{\text{фа}} = I_{\text{ф}}\cos\varphi$  - діюче значення активної складової фазного струму.

Датчики активного струму (активної потужності) можуть бути різними за принципом дії і схемною реалізацією.

Щоб зрозуміти принцип дії найбільш досконалого датчика проаналізуємо роботу трифазної мережі, до якої підключене симетричне навантаження, з'єднане зіркою (рис. 3.9а).

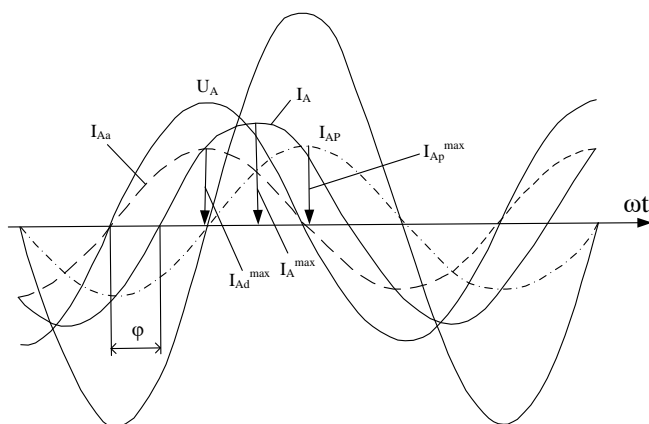
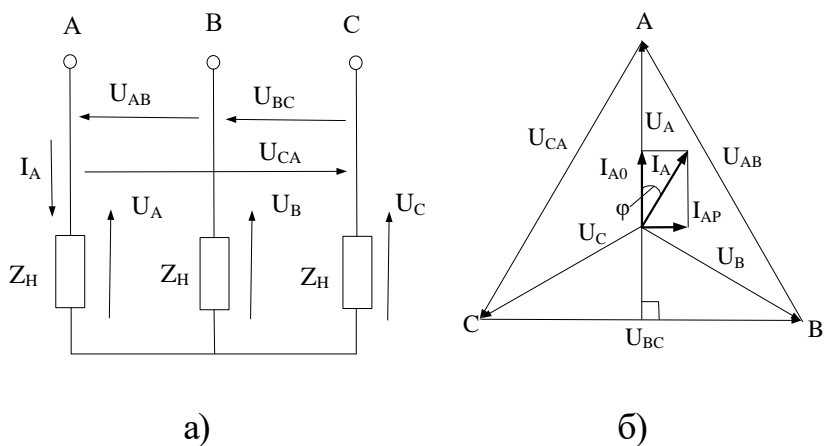


Рисунок 3.9 – Схема (а), векторна (б) і часова (в) діаграми координат трифазної мережі при живленні індуктивного навантаження

Якщо навантаження має активно-індуктивний характер, то струм  $I_A$  фази А в загальному випадку буде відставати від напруги  $U_A$  цієї фази на деякий кут  $\varphi$  (рис. 3.9б). Цей струм можна розкласти на дві складові: активну  $I_{Aa} = I_A \cos\varphi$  і реактивну  $I_{Ap} = I_A \sin\varphi$ . При цьому активна складова  $I_{Aa}$  збігається по фазі з напругою  $U_A$ , а реактивна –  $I_{Ap}$  відстає від неї на  $\pi/2$ . З векторної діаграми видно, що активна складова струму випереджає лінійну напругу  $U_{BC}$  на кут  $\pi/2$ , а реактивна – збігається по фазі з вказаною напругою.

Якщо від векторної діаграми перейти до часової, то одержимо, очевидно, процеси, показані на рис. 3.9в. На цьому рисунку синусоїдний струм  $i_A$  фази А розкладений на дві складові: синусоїду активного струму  $i_{Aa}$  і синусоїду реактивного струму  $i_{Ar}$ . Ці складові мають вказаний вище фазовий зсув відносно синусоїд напруг  $U_A$  і  $U_{BC}$ .

З часової діаграми видно, що у моменти часу, коли  $U_{BC} = 0$ , то дорівнює нулеві також складова  $i_{Ar}$ , а складова  $i_{Aa}$  має амплітудне (максимальне) значення  $I_{Aa}^{\max}$ . Водночас це максимальне значення дорівнює значенню повного струму фази  $i_A$  у ці ж моменти часу.

Дійсно, якщо початок відліку кута сумістити з початком синусоїди фазної напруги  $U_A$ , то для струму  $i_d$  можна записати

$$i_A = I_A^{\max} \sin(\omega t - \varphi),$$

де  $I_A^{\max}$  - амплітудне значення струму.

При  $\omega t = \pi / 2$ , одержимо

$$i_A = I_A^{\max} \sin(\pi / 2 - \varphi) = I_A^{\max} \cos \varphi = I_{Aa}^{\max}. \quad (3.4)$$

Тобто, якщо фіксувати значення струму фази А, коли  $U_{BC} = 0$ , то будемо отримувати інформацію про амплітудне значення активної складової струму.

На основі сказаного ґрунтується робота схеми (рис. 3.10). Для контролю струму у фазі А використовується трансформатор струму ТА, який навантажений резистором R1. З метою підвищення напруги, що виділяється на цьому резисторі, використовується підвищуючий трансформатор TV1. Контроль лінійної напруги  $U_{BC}$  здійснюється за допомогою понижуючого трансформатора TV2. Він забезпечує також гальванічну розв'язку між силовим колом і колами датчика.

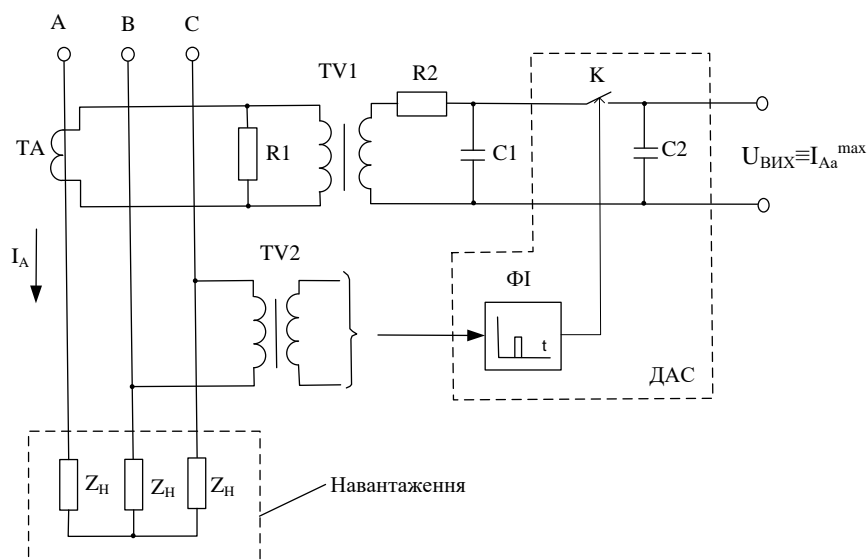


Рисунок 3.10 – Функціональна схеми установки для вимірювання активного струму

У зв'язку з неідеальністю вказаних трансформаторів їх вихідні напруги мають деякий фазовий зсув відносно контрольованих величин, тобто струму  $i_A$  фази А і лінійної напруги  $U_{BC}$ .

Для компенсації цього зсуву на виході трансформатора TV1 включена аперіодична ланка R2-C1. Таким чином, на конденсаторі C1 виділяється напруга, пропорційна миттєвому значенню струму фази А.

До складу датчика активного струму входить також запам'ятовуючий конденсатор C2, ключ К і формувач імпульсів ФІ, вихідний сигнал якого керує ключем К.

Датчик працює в такий спосіб. У момент зміни полярності напруги  $U_{BC}$  з від'ємного значення на додатне (або з додатного на від'ємне) на виході формувача ФІ з'являється короткий імпульс, який викликає замикання ключа К. При цьому напруга конденсатора C1 подається на конденсатор C2, який заряджається до рівня напруги конденсатора C1.

Таким чином, згідно з викладеним вище матеріалом, на конденсаторі C2 в кожний період запам'ятовується напруга, пропорційна амплітуді активної

складової струму фази А. З аналізу також випливає, що максимальне запізнення, яке дає датчик при зміні величини активного струму, не перевищує періоду.

Варто також зазначити, що використовуючи розглянуті рішення, можна побудувати датчик реактивного струму (потужності).

### 3.4. Датчики швидкості

У системах електроприводу датчики швидкості використовуються для реалізації зворотних зв'язків за швидкістю. Вони бувають аналогові та імпульсні. Як аналогові датчики швидкості використовують тахогенератори – мікромашини постійного і змінного струму.

#### 3.4.1. Тахогенератор постійного струму

До тахогенератора ставляться такі вимоги:

- лінійність характеристики, тобто залежності вихідної напруги (ЕРС) від швидкості;
- велика крутизна характеристики;
- мінімальна зона нечутливості в зоні нульової швидкості;
- мінімальні пульсації вихідної напруги;
- малий момент тертя і малий момент інерції ротора;
- мінімальні габарити і маса.

Тахогенератор постійного струму (рис. 3.11) може бути виконаний із електромагнітним збудженням і від постійних магнітів. Його вхідною координатою є швидкість  $\omega$ , а вихідною – напруга  $U_{ВИХ}$ , що виділяється на навантаженні  $R_H$ . Згідно з рис. 11, можна записати

$$U_{ВИХ} = I_H \cdot R_H = \frac{E_{\pi}}{R_{\pi} + R_H} R_H = \frac{k\Phi\omega}{R_{\pi} + R_H} R_H$$

де  $R_{\pi}$  - опір обмотки якоря тахогенератора.

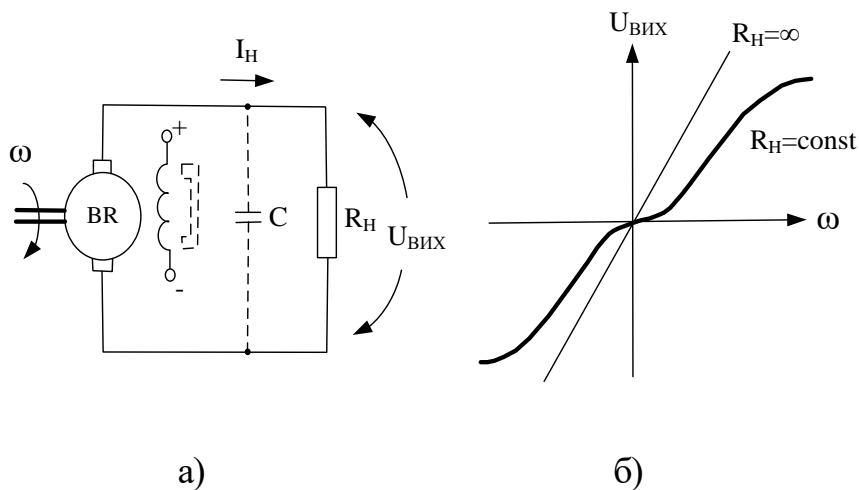


Рисунок 3.11 – Схеми включення (а) і характеристики (б) тахогенератора постійного струму

Позначимо

$$\frac{k\Phi}{R_{\pi} / R_H + 1} = k_{\pi} \quad (3.5)$$

де  $k_{\pi}$  - передавальний коефіцієнт тахогенератора

Тоді

$$U_{\text{ВИХ}} = \omega \cdot k_{\pi}, \quad (3.6)$$

Передавальна функція тахогенератора має вигляд

$$W_{\pi}(p) = \frac{U_{\text{ВИХ}}(p)}{\omega(p)} = k_{\pi} \quad (3.7)$$

З рівняння (3.6) видно, що вихідна характеристика тахогенератора є лінійною. Однак з (3.5) бачимо, що  $k_{\pi}$  залежить від опору навантаження  $R$  (рис. 3.11а). З цього рисунка видно, чим більший опір навантаження, тим крутіша характеристика. При цьому опорі  $R_H$  на лінійність характеристики в зоні малої швидкості негативно впливає нелінійність опору щіткового контакту, а в зоні великих швидкостей - реакція якоря. Для послаблення дії вказаних чинників

застосовують металізовані щітки з малим спадом напруги і також збільшують опір навантаження та обмежують швидкість тахогенератора.

На практиці опір навантаження необхідно вибирати найбільшим з можливих.

На роботу тахогенератора, крім сказаного вище, істотно впливають пульсації вихідної напруги. Ці пульсації зумовлені такими конструктивно-технологічними чинниками:

- кінцевою кількістю колекторних пластин;
- зубчастою конструкцією якоря;
- несиметрією повітряного проміжку.

При конструюванні тахогенераторів дію цих чинників намагаються звести до мінімуму. Практично, зменшення пульсацій можна забезпечити завдяки включенню конденсатора С паралельно до опору навантаження (рис. 3.11б). Однак при цьому передавальна функція тахогенератора змінюється

$$W_{\pi}(p) = \frac{U_{вих}(p)}{\omega(p)} = \frac{k_{\pi}}{1 + T_{\Phi} p} \quad (3.8)$$

де  $T_{\Phi} = \frac{R_{\pi} R_H}{R_{\pi} + R_H} C$  стала часу.

Очевидно, чим більша  $T_{\Phi}$ , тим менші пульсації вихідної напруги. Однак при цьому смуга пропускання тахогенератора зменшується. Тому при виборі конденсатора потрібно шукати компроміс між цими чинниками.

### **3.4.2. Асинхронний тахогенератор**

До цього тахогенератора ставляться такі самі вимоги, як і до тахогенератора постійного струму. Конструкція його така: на статорі тахогенератора є дві взаємно перпендикулярні обмотки – обмотка збудження або вертикальна обмотка В, яка розташована по вертикальній осі, і вихідна горизонтальна обмотка Г, яка розташована по горизонтальній осі. До останньої обмотки підключається опір навантаження  $Z_H$ . Для зменшення моменту інерції ротор виконується у вигляді порожнистого циліндра з немагнітного металу. Всередині ротора

розташовується нерухоме сталеве шихтоване осердя, через яке замикається магнітний потік (рис. 3.12а).

При нерухомому роторі магнітний потік обмотки В (рис. 3.12б) пронизує ротор і наводить у його витках трансформаторну ЕРС  $E_T$  (умовно показана на внутрішньому кільці витків). Під дією цієї ЕРС протікає струм  $I$  який створює магнітний потік по осі В. У результаті цього по вертикальній осі встановлюється результуючий потік збудження  $\Phi_{ЗБ}$ . Водночас ЕРС генераторної обмотки  $E_G = 0$ , тому що вектор потоку  $\Phi_{ЗБ}$  перпендикулярний до її осі.

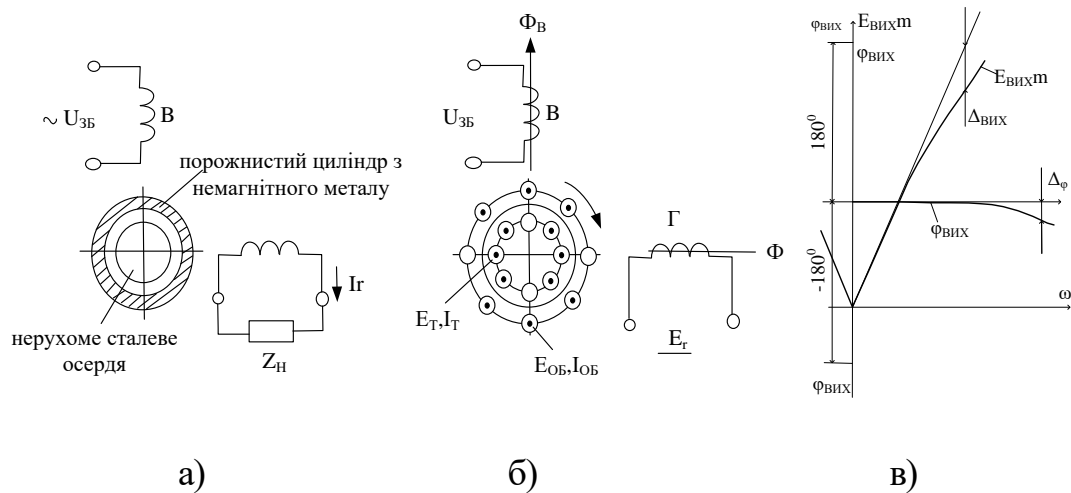


Рисунок 3.12 – Схема (а), принцип дії (б) та амплітудна і фазова характеристики (в) асинхронного тахогенератора

При обертанні ротора його витки перетинають силові лінії потоку  $\Phi_B$ , внаслідок чого в них наводиться ЕРС обертання  $E_{ОБ} = \omega$  (умовно показана на зовнішньому кільці витків). Під дією цієї ЕРС протікатиме струм  $I_{ОБ}$ , який створює потік  $\Phi_G$  спрямований по осі генераторної обмотки. Оскільки  $I_{ОБ} = E_{ОБ}$ , то створений цим струмом потік  $\Phi_G$  буде прямо пропорційний до кутової швидкості ротора  $\omega$ ,  $\Phi_G = \omega$ . Частота пульсації  $\Phi_G$  збігається з частотою пульсації  $U_{ЗБ}$ . Магнітний потік  $\Phi_G$  індукує в генераторній обмотці трансформаторну ЕРС

$$E_G = 4,44 W_G \cdot f_{ЗБ} \Phi_G \quad (3.9)$$

де  $W_G$  - кількість витків обмотки Г.



Частота вихідної ЕРС  $E_{\Gamma}$  збігається з частотою  $f_{зб}$  і не залежить від кутової швидкості ротора.

Отже, можна записати

$$E_{\Gamma} = S_{\Gamma} - \omega \quad (3.10)$$

де  $S_{\Gamma}$  - крутизна характеристики, яка залежить від конструктивних параметрів і напруги збудження.

При прийнятому допущенні незмінності потоку  $\Phi_{зб}$  від швидкості  $\omega$  функція  $E_{\Gamma} = f(\omega)$  є лінійною. Але з ростом швидкості обертання ротора потік  $\Phi_{зб}$  зменшується, тому що потік  $\Phi_{\Gamma}$  наводить у витках ротора додаткову ЕРС обертання  $E_{обд}$  напрямком якої збігається з напрямком ЕРС  $E_{\Gamma}$ , оскільки  $\Phi_{\Gamma} = \omega$ , то  $E_{обд} \equiv \omega^2$ .

Створений ЕРС  $E_{обд}$  струм і потік будуть зменшувати потік  $\Phi_{зб}$  при збільшенні швидкості. Тому з ростом швидкості лінійність характеристик керування (рис. 3.12в) порушується, а саме: знижується передавальний коефіцієнт і одночасно відбувається зсув фази тахогенератора.

Крім того, на лінійність характеристики ( $E_{\Gamma} = f \omega$ ) негативно впливає опір навантаження  $Z_{н}$ , оскільки струм навантаження  $I_{\Gamma}$  впливає, своєю чергою, на потік  $\Phi_{\Gamma}$ .

Тому на практиці опір навантаження намагаються вибирати якомога більшим.

Для цього опір навантаження підключають до тахогенератора за допомогою емітерного повторювача (рис. 3.13).

Якщо швидкість  $\omega$  змінює свій напрямок, то фаза ЕРС  $E_{\Gamma}$  змінюється на  $180^{\circ}$  відносно фази напруги збудження  $U_{зб}$ . Тому, у цьому разі, щоб визначити напрямок обертання, необхідно використовувати фазочутливий пристрій (фазовий детектор).

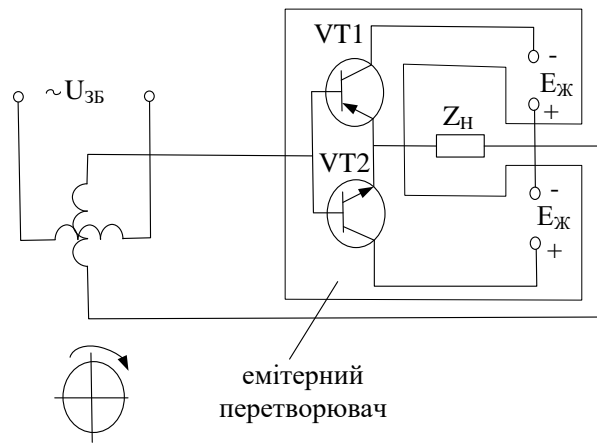


Рисунок 3.13 – Схема узгодження асинхронного тахогенератора з низькоомним навантаженням

Смуга пропускання асинхронного тахогенератора обмежується частотою напруги збудження.

Асинхронний тахогенератор порівняно з тахогенератором постійного струму має більшу надійність, більшу максимальну частоту обертання і менший момент інерції ротора. Недоліком його є залишкова ЕРС при нерухомому роторі, значні похибки і складна їх залежність від багатьох чинників, а також більші габарити і маса.

### 3.4.3. Імпульсні датчики швидкості

В сучасних системах АЕП з широким діапазоном і високою точністю регулювання швидкості точність тахогенераторів може виявитись недостатньою. В таких системах використовують імпульсні або цифрові датчики швидкості (ЦДШ).

У ЦДШ (рис. 3.14а) можна виділити датчик імпульсів ДІ і кодовий перетворювач або лічильник імпульсів ЛІ.

Датчик імпульсів перетворює кутову швидкість вала в імпульси, частота яких пропорційна до швидкості. Лічильник імпульсів формує цифровий код  $A_n$  за інтервал вимірювання  $T$  вихідної величини датчика швидкості.

Датчик імпульсів (рис. 3.14б) складається з кодового диска КД, формувачів імпульсів ФІ1, ФІ2 і вузла розподілу імпульсів ВРІ.

Кодовий диск (рис. 3.15) встановлюється на вісь, швидкість якої вимірюється. Він має два ряди концентричних прямокутних прорізів. Прорізи верхнього ряду зсунуті відносно прорізів нижнього ряду на кут  $\pi/2$ . З одного боку від прорізів стоять джерела світла ДС1, ДС2, а з другого – фотоприймачі (фотодіоди) ВЛ1, ВЛ2.

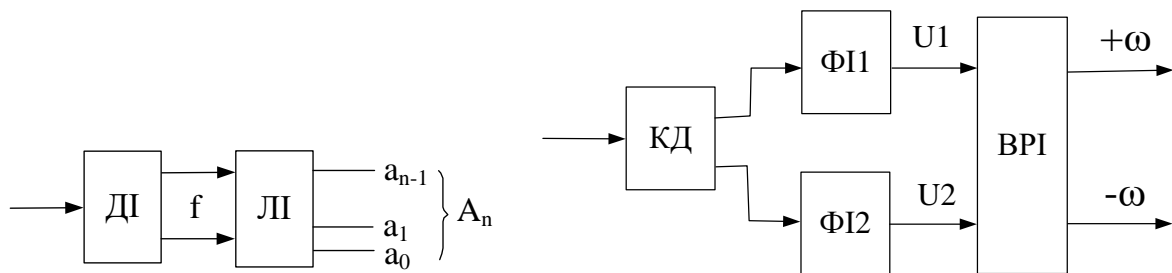


Рисунок 3.14 – а) функціональна схема цифрового датчика швидкості;  
б) функціональна схема датчика імпульсів

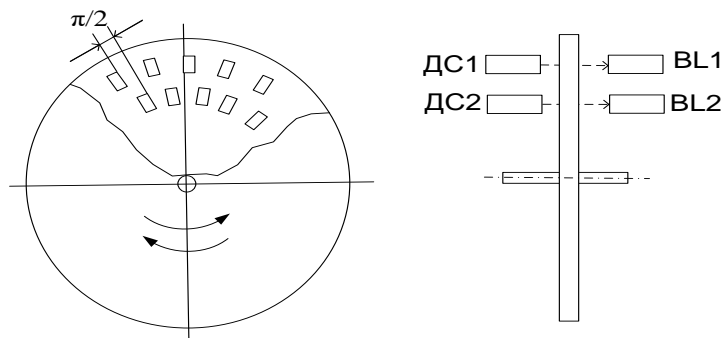


Рисунок 3.15 – Конструкція кодового диска

При обертанні диска з кутовою швидкістю  $\omega$  на виході фотоприймачів формується вихідний сигнал змінної амплітуди з частотою

$$f_{ДІ} = \frac{\omega}{2\pi} N_{ДІ} \quad (3.11)$$

де  $N_{ДІ}$  кількість прорізів в диску.

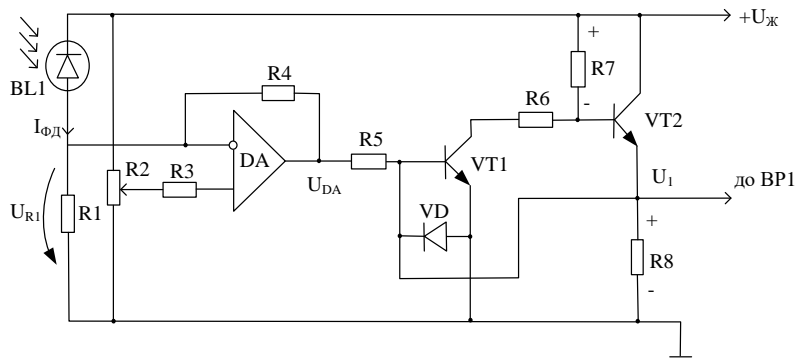
Формувачі імпульсів призначені для перетворення вихідних сигналів  $BL1$ ,  $BL2$  у сигнали постійного рівня і тривалості.

Напруга  $U_{R1}$ , пропорційна струму  $i_{фл}$  фотодіода  $BL1$ , подається на інвертуючий вхід операційного підсилювача  $DA$  (рис. 3.16а). На прямий вхід підсилювача подається напруга, що знімається з резистора  $R2$ . Ця напруга необхідна для компенсації постійної складової вихідної напруги  $U_{DA}$ , зумовленої наявністю її у сигналі  $U_{R1}$  (рис. 3.16б). Вихідна напруга підсилювача  $U_{DA}$  подається на каскад, зібраний на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ , охоплених додатним зворотним зв'язком.

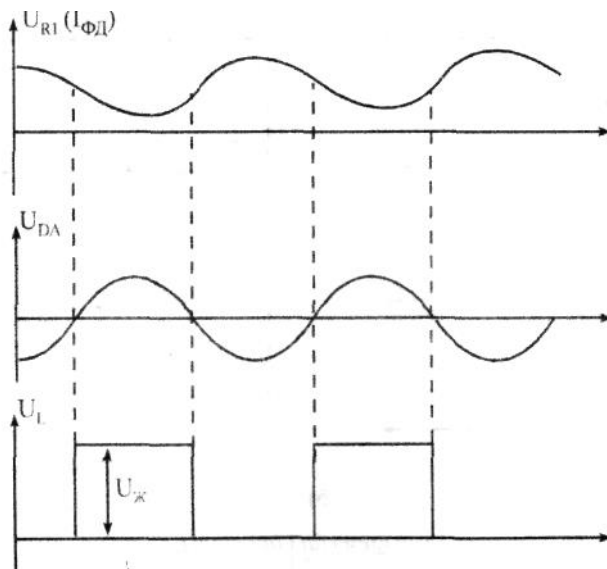
Схема працює так. При виникненні додатної напруги  $U_{DA}$  на виході підсилювача по колу база-емітер  $VT1$ , транзистор  $VT1$  починає відкриватись. При цьому по колу  $+U \rightarrow R7 \rightarrow R6 - K - E (VT1) \rightarrow \perp$  протікатиме струм. Спад напруги на резисторі  $R7$  викликає струм по колу  $E-B$  транзистора  $VT2$ . При цьому протікає струм по колу  $+U \rightarrow K-E (VT2) \rightarrow R8 \rightarrow 1$ . Спад напруги на резисторі  $R8$ , прикладений до кола  $B - E$  транзистора  $VT1$ , ще більше відкриває його. Отже, процес відкривання і закривання транзисторів протікає лавиноподібно. Внаслідок цього на виході  $\Phi1$  формуються прямокутні імпульси  $U1$ . Формувач  $\Phi2$  працює аналогічно.

Наступний вузол ЦДШ - вузол розподілу імпульсів  $BPI$  (рис. 3.17а).

Цей вузол призначений для визначення напрямку обертання. Він містить елемент "Н1", два елементи "Г" та два одновібратори  $S1$  і  $S2$ , які по передньому фронту вхідного імпульсу формують короткі вихідні імпульси.

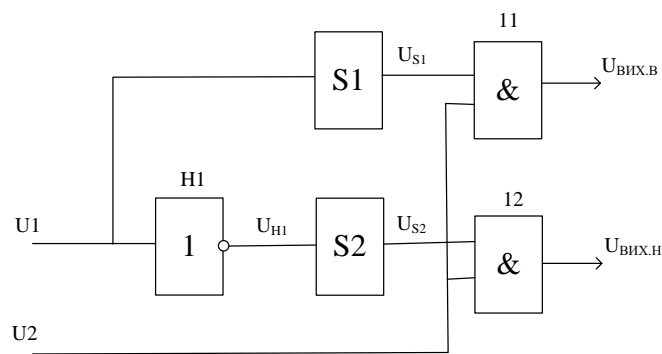


а)

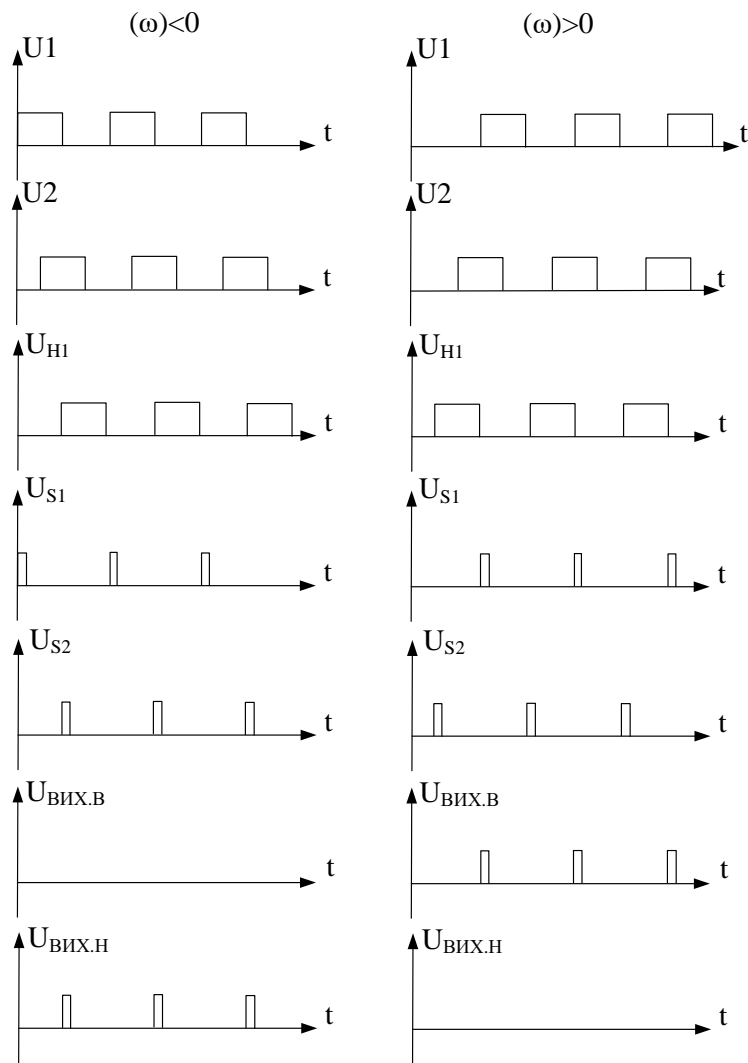


б)

Рисунок 3.16 – Принципова схема (а) і діаграма роботи (б) формувача імпульсів



а)



б)

Рисунок 3.17 – Продовження). Функціональна схема (а) і діаграма роботи (б) вузла розподілу імпульсів

При зміні напрямку обертання змінюється черговість формування напруг  $U_1$  і  $U_2$  на виходах формувачів імпульсів. Діаграма, показана на рис. 3.17б, пояснює роботу ВРІ при обох напрямках обертання.

Формування цифрового коду на виході ЦДШ за допомогою лічильника імпульсів ЛІ може здійснюватись двома способами. Перший полягає в тому, що на заданому періоді вимірювання  $T$  лічильник підраховує кількість імпульсів, яка буде характеризувати середнє значення швидкості (рис. 3.17а). Кількість імпульсів, яку при цьому підраховують, можна визначити за формулою

$$N = f_{дл} T = \frac{\omega}{2\pi} N_{дл} T \quad (3.12)$$

При малій швидкості обертання, очевидно, похибка вимірювання буде більшою, ніж при великій.

Другий спосіб полягає у тому, що підраховується кількість високочастотних опорних імпульсів, що вміщуються на проміжку між двома вихідними імпульсами ВРІ (рис. 3.17б).

Очевидно, середнє значення швидкості при цьому буде характеризувати величина, обернена до цієї кількості.

Можна зробити висновок, що цей спосіб забезпечує більшу точність вимірювання малих значень швидкості.

Вказане перетворення і формування цифрового коду здійснюється засобами цифрової схемотехніки.

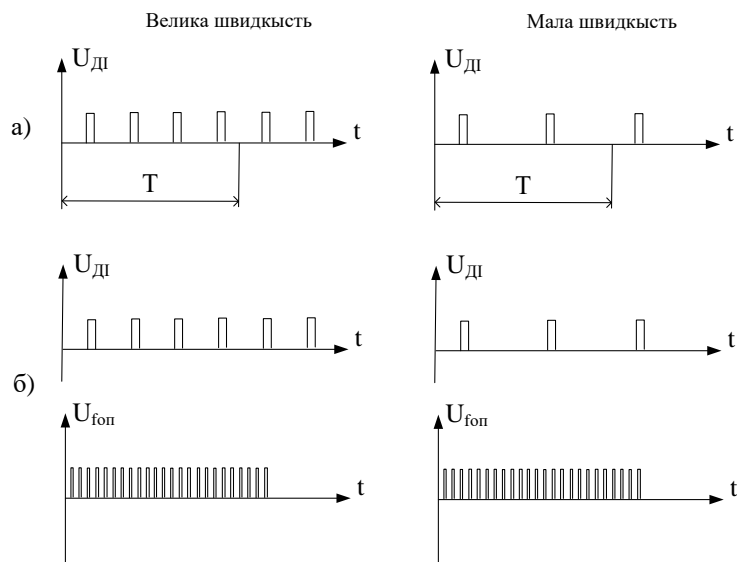


Рисунок 3.18 – Способи перетворення послідовності імпульсів

Практична реалізація першого способу показана на рис. 3.19.

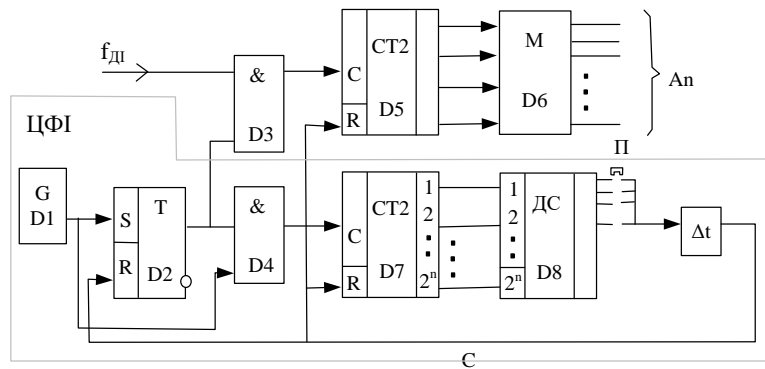


Рисунок 3.19 – Схема формування цифрового коду на інтервалі вимірювання  $T \rightarrow var$

Період вимірювання  $T_i$  задається цифровим формувачем інтервалів вимірювання ЦФІ, до складу якого входить двійковий лічильник D5 і двійково-десятковий дешифратор D8. Період вимірювання  $T_i$  є змінним і вибирається перемикачем П, залежно від частоти імпульсів  $f_{дл}$ . Вимірювання здійснюється відповідно до рівності:

$$N = \frac{\omega}{2\pi} N_{дл} T \quad (3.13)$$

де  $N$  - кількість імпульсів за період  $T_{ц}$  які накопичуються лічильником D5 і запам'ятовуються пам'яттю D6 у двійковому коді  $A_n$ .

#### 3.4.4. Автомобільний тахометр

Автомобільний тахометр, принципова схема якого показана на рис. 3.20, призначений для вимірювання кількості обертів колінчастого вала карбюраторних двигунів внутрішнього згорання. Живлення приладу здійснюється напругою 12 В. Струм, який споживає тахометр, не більший, ніж 0.1А.



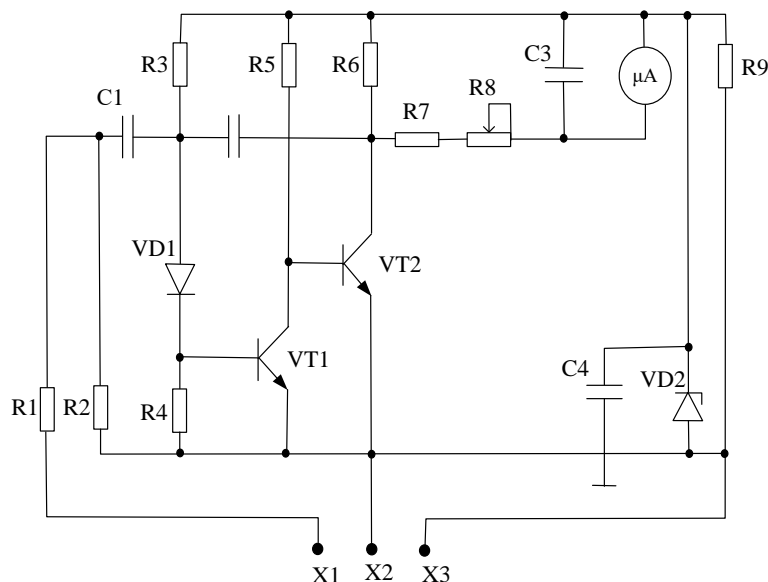


Рисунок 3.20 – Принципова схема автомобільного тахометра

Схема приладу складається з мультивібратора, зібраного на VT1, VT2, стабілізатора напруги на VD2 і мікроамперметра  $\mu\text{A}$ . Роз'єм XI під'єднується до ізоляції високовольтного проводу, який йде від котушки запалювання. На роз'єми X2, X3 подається  $\pm 12\text{ В}$ . У вихідному положенні, коли діод VD1 і транзистор VT1 відкриті, а транзистор VT2 закритий, струм через мікроамперметр не протікає. Конденсатор C2 при цьому заряджений до напруги стабілізації стабілітрона VD2.

При подачі від системи запалювання двигуна на роз'єм XI від'ємного імпульсу діод VD1 і транзистор VT1 закриваються, а транзистор VT2 відкривається. Конденсатор C2 починає перезаряджатися через резистор R3 і відкритий транзистор VT2, і тому через мікроамперметр протікає струм. Коли напруга на аноді діода VD1 досягне  $+1.2\text{ В}$ , діод VD1 і транзистор VT1 відкриваються, а транзистор VT2 закривається і струм через мікроамперметр не буде протікати.

Таким чином, кожний від'ємний імпульс, який поступає на вхід тахометра від системи запалювання, спричиняє протікання фіксованого по амплітуді і тривалості струму через мікроамперметр. Тривалість імпульсу струму визначається ланкою R3-C2, а амплітуда – напругою стилізації VD2 й опорами R7, R8.

У результаті покази мікроамперметра будуть пропорційні до частоти іскроутворення в системі запалювання або кількості обертів колінвала.

### 3.5. Датчики переміщення

Датчики переміщення є невід'ємною частиною позиційних систем АЕП, які набули широкого застосування, зокрема, в приводах металорізальних верстатів.

За принципом дії ці датчики поділяються на індуктивні (аналогові) і оптичні (імпульсні), а за конструктивним виконанням – на колові та лінійні.

#### 3.5.1. Сельсин

Сельсин – це мікромашина змінного струму, яка має дві обмотки: одно- (обмотку збудження) і трифазну (обмотку синхронізації). Одна з обмоток розташовується на статорі, а друга - на роторі. За конструкцією сельсини поділяються на контактні і безконтактні.

У схемах датчиків вхідною координатою сельсина є кут повороту його ротора  $\theta$  (рис. 3.21а), а вихідними координатами – амплітуда  $U_{\text{вихн}}$  або фаза  $\varphi$  вихідної напруги відносно напруги збудження  $U_{\text{ЗБ}}$ .

Розрізняють два режими роботи сельсина: амплітудний і фазовий (режим фазообертача). В амплітудному режимі  $\varphi = \text{const}$  (0 або  $\pi$ ), а  $U_{\text{вихн}} = f(\theta)$ , а у фазовому режимі  $U_{\text{вихн}} = \text{const}$ , а  $\varphi = f(\theta)$ .

В амплітудному режимі обмотка збудження отримує живлення від однофазної мережі  $U_{\text{ЗБ}} = U_{\text{ЗБ}} \sin \omega t$  (рис. 19б). При цьому пульсуючий магнітний потік, що діє на осі обмотки збудження, наводить ЕРС у фазах трифазної обмотки:

$$e_A = k_T U_{\text{ЗБм}} \sin \omega t \cos \theta;$$

$$e_B = k_T U_{\text{ЗБм}} \sin \omega t \cos(\theta - 2\pi/3);$$

$$e_C = K_T k_T U_{3\Phi m} \sin \omega t \cos(\theta - 4\pi/3);$$

де  $k_T = E_{\Phi m} / U_{3\Phi m}$  - коефіцієнт трансформації між обмоткою кожної фази і обмоткою збудження при співвісному положенні.

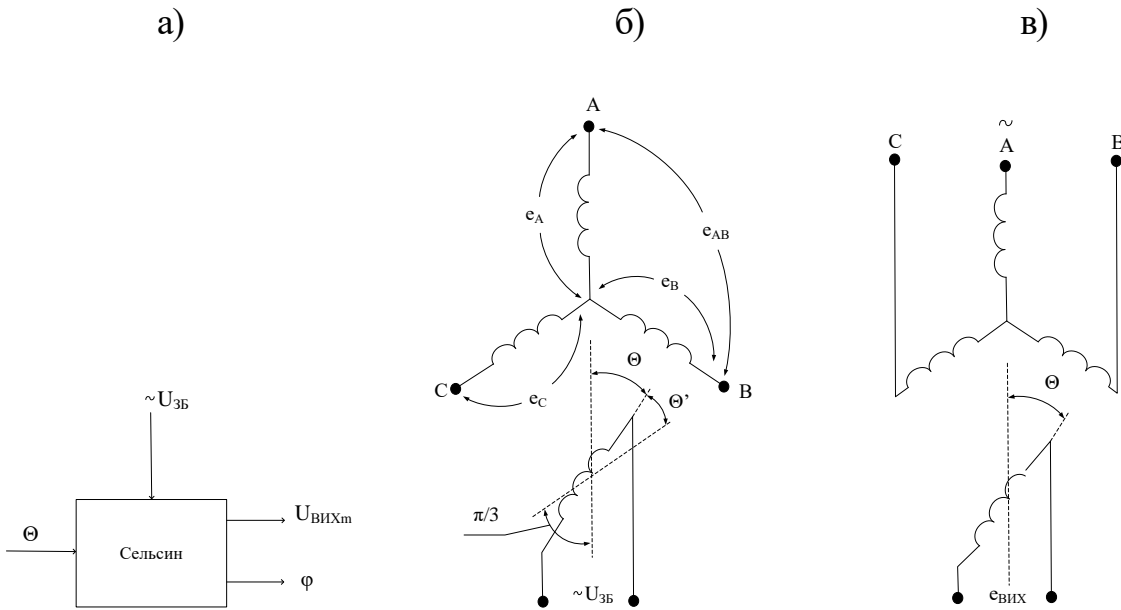


Рисунок 3.21– Узагальнена схема сельсини (а) і режими його роботи: б – амплітудний; в - фазовий

Користуючись отриманими виразами, знайдемо лінійну ЕРС  $e_{AB}$

$$e_{AB} = e_A - e_B = k_T U_{3\Phi m} \sin \omega t \left[ \cos \theta - \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right) \right] = \sqrt{3} k_T U_{3\Phi m} \sin \left( \frac{\pi}{3} - \theta \right) \sin \omega t \quad (3.14)$$

Позначимо  $\pi/3 - \theta = \theta'$ . Це рівнозначно тому, що початок відліку кута переміщується від осі фази А на кут  $\pi/3$  у напрямку до фази В (рис. 3.21а). Оскільки осі фаз А і В розташовані під кутом  $2\pi/3$ , то нова вісь відліку проходить посередині між фазами А і В, тобто збігається з віссю фази С.

Стосовно до нової системи відліку можна записати

$$e_{AB} = \sqrt{3} k_T U_{3\Phi m} \sin \theta' \sin \omega t$$

у разі від'ємного кута  $\theta' < 0$  цей вираз набуде вигляду

$$e_{AB} = \sqrt{3}k_T U_{3Bm} \sin |\theta'| \sin(\omega t + \pi)$$

З цих виразів видно, що  $e_{ABm} = \sqrt{3}k_T U_{3Bm} \sin \theta'$  є функцією кута  $\theta$ , а фаза вихідної напруги у разі  $\theta > 0$  дорівнює нулю, а у разі  $\theta < 0$  - зміщується на  $180^\circ$ .

Отже, встановлено, що розглянута вище схема має ознаки амплітудного режиму.

У фазовому режимі трифазна обмотка живиться від джерела трифазної напруги з незмінною амплітудою і фазою (рис. 3.21в). При цьому утворюється обертове магнітне поле. Яке наводить в однофазній обмотці ЕРС

$$e_{\text{вих}} = \frac{3E_{\phi m}}{2k_T} \cos(\omega t - \varphi) \quad (3.15)$$

Водночас зсув фази на кут  $\varphi$  забезпечується поворотом ротора сельсина на кут  $\theta = \varphi$ . Тобто фаза вихідної ЕРС дорівнює куту повороту ротора

$$\Phi = 0 \quad (3.16)$$

Рівність (3.16) є характеристикою керування сельсина у фазовому режимі.

### **3.5.2. Синусно-косинусний обертовий трансформатор (СКОТ)**

Порівняно з сельсином, СКОТ забезпечує більшу точність вимірювання і являє собою двофазну мікромашину змінного струму. Неявнополісний статор і ротор мають по дві взаємно перпендикулярні обмотки. На статорі по осі  $\alpha$  розташована обмотка збудження С1-С2 (рис. 3.22а), а по осі  $\beta$  - квадратурна обмотка С3-С4. На роторі по осях  $d$  і  $q$  розташовані, відповідно, синусна Р1-Р2 і косинусна Р3-Р4 обмотки. СКОТ, як і сельсин, може працювати в амплітудному і фазовому режимах.

В амплітудному режимі (рис. 3.22а) обмотка збудження, що розташована по осі  $\alpha$ , живиться від джерела змінної напруги  $U, U = U_{3Bm} \sin \omega t$ . При цьому по осі  $\alpha$

утворюється пульсуюче магнітне поле. Якщо обмотки ротора розімкнеш, то в них наводиться ЕРС

$$e_d = k_T U_{3\text{Бм}} \cos\theta \sin\omega t = E_{\text{dm}} \sin\omega t:$$

$$e_q = k_T U_{3\text{Бм}} \sin\theta \sin\omega t = E_{\text{qm}} \sin\omega t,$$

де

$$E_{\text{dm}} = k_T U_{3\text{Бм}} \cos\theta = E_m \cos\theta : \quad (3.17)$$

$$E_{\text{qm}} = k_T U_{3\text{Бм}} \sin\theta = E_m \sin\theta. \quad (3.18)$$

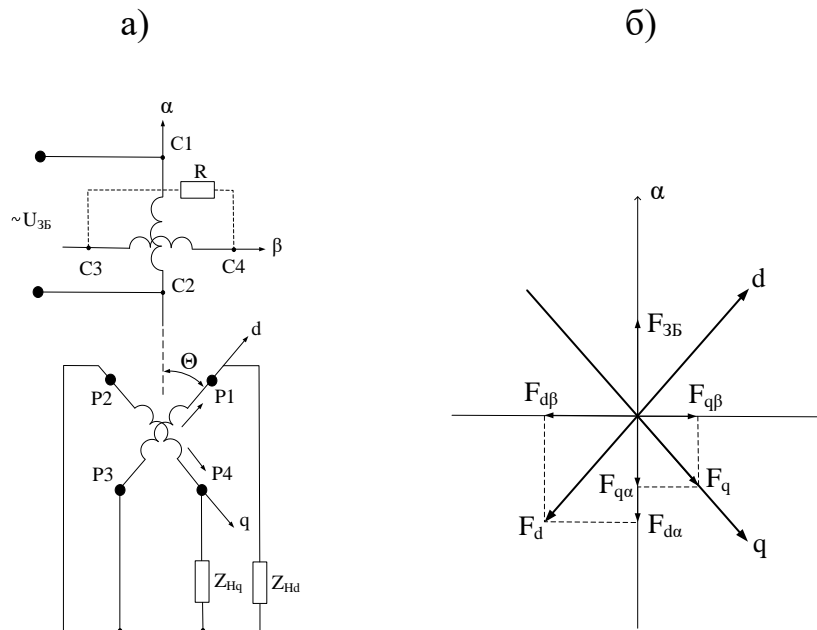


Рисунок 3.22 – Схеми під'єднання СКОТ у амплітудному режимі (а) та діаграма магніторушійних сил (б)

Як видно з наведених виразів, амплітуда наведених ЕРС ( $E_{\text{dm}}$ ,  $E_{\text{qm}}$ ), як і у сельсина, при роботі його в такому режимі, залежить від кута повороту.

Однак на точність виконання цих залежностей впливають навантаження роторних обмоток. Струми  $I_d$  і  $I_q$  (рис. 3.22а), які протікають по обмотках ротора, створюють магніторушійні сили (м.р.с.)  $F_d$  і  $F_q$  по осях  $d$  і  $q$  (рис. 3.22б). Ці м.р.с.

можна розкласти на складові  $F_{d\alpha}$ ,  $F_{q\alpha}$  і  $F_{d\beta}$ ,  $F_{q\beta}$ . Якщо  $Z_{нд} \neq Z_{нq}$  тоді результуюча м.р.с. по осі  $\beta$   $F_{\beta\Sigma} = F_{q\beta} - F_{d\beta}$  не буде дорівнювати нулю. Від дії цієї м.р.с. в обмотках ротора будуть наводитись додаткові ЕРС, які вносять спотворення у наведені вище залежності вихідних ЕРС СКОТ.

Щодо реакції по осі  $\alpha$ , то спотворення, які нею вносяться, значно менші, оскільки м.р.с. по осі  $\alpha$  від дії струмів  $I_d$  і  $I_q$  і можуть бути легко скомпенсовані відповідною зміною м.р.с. збудження  $F_{36}$ .

Для компенсації впливу м.р.с. реакції ротора по осі  $\beta$  застосовують вторинне і первинне симетрування. Вторинне симетрування полягає в тому, що забезпечують  $Z_{нд} = Z_{нq}$ . Водночас м.р.с. реакції по осі  $\beta$  дорівнює нулю.

У тих випадках, коли за умови використання СКОТ вторинне симетрування здійснити неможливо, тоді використовують первинне симетрування. Воно полягає у замиканні квадратурної обмотки на відповідний опір  $R$ . При цьому струм, що протікає по цій обмотці, створює м.р.с. по осі  $\beta$ , яка компенсує результуючу м.р.с. від дії роторних обмоток.

У фазовому режимі обмотки статора отримують живлення від джерела двофазної напруги (напруги зсунуті на кут  $\pi/2$ ). При цьому утворюється обертове магнітне поле, яке наводить у кожній обмотці ротора ЕРС, фаза якої змінюється лінійно у функції кута повороту ротора. Наприклад, для синусної обмотки

$$E_{вих} = \frac{\sqrt{2}}{2} k_f U_{збм} \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.19)$$

при цьому  $\varphi = 9$ , - тобто фаза наведеної ЕРС дорівнює куту повороту ротора.

Такий режим можна одержати у більш простій схемі (рис. 3.23) з використанням джерела  $I$  однофазної напруги. В цій схемі параметри вибираються так:

$$X_c = 1/\omega C = R; \quad Z_H \gg R; \quad R \gg Z_P,$$

де  $Z_p$  - індуктивний опір обмоток ротора.

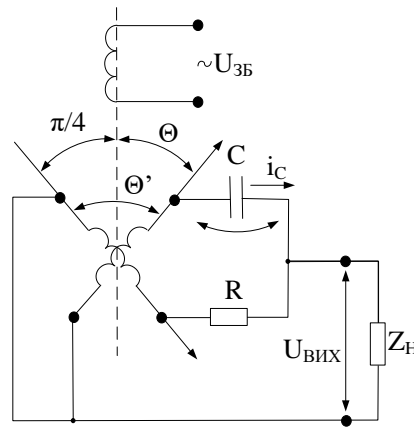


Рисунок 3.23 – Схема під'єданого СКОТ у фазовому режимі з використанням джерела однофазної напруги

Згідно зі схемою, можна записати

$$U_B = e_d - U_C; \quad U_C = i_C j X_C; \quad i_C = \frac{e_d + e_q}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} X_C$$

$$e_d + e_q = E_m \sin(\omega t (\cos\theta + \sin\theta)) = \sqrt{2} E_m \cos(\theta - \pi/4) \sin\omega t.$$

Напруга на ємності C буде

$$U_C = \frac{\sqrt{2} E_m \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} X_C \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = E_m \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

тоді напруга на опорі навантаження визначиться так:

$$U_{вих} = E_m \cos\theta \sin\omega t - E_m \cos\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right) \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = E_m \sin\frac{\pi}{4} \cos\left(\omega t + \theta - \frac{\pi}{4}\right)$$

Якщо прийняти  $\theta - \frac{\pi}{4} = \theta'$ , то це означає, що початок відліку кута переміститься на  $\pi/4$  проти годинникової стрілки відносно осі обмотки збудження. Тоді остаточно можна записати

$$U_{ВИХ} = \frac{\sqrt{2}}{2} k_T U_{ЗБм} \sin(\omega t + \theta') \quad (3.20)$$

таким чином, фаза вихідної напруги

$$\varphi = \theta' \quad (3.21)$$

де  $\theta'$  – кут повороту ротора сельсина.

### 3.5.3. Індуктосин

Індуктосини бувають лінійні і колові. До складу лінійного індуктосина (рис. 3.24) входять лінійка і головка з ізоляційного матеріалу. На них способом друку нанесені обмотки. На головці індуктосина нанесено дві обмотки з просторовим зсувом на  $1/4$  кроку, що забезпечує можливість його роботи у фазовому і амплітудному режимах. Між лінійкою і головкою встановлюється щілина  $0,5$  мм. Отже, між обмотками існує індукційний зв'язок.

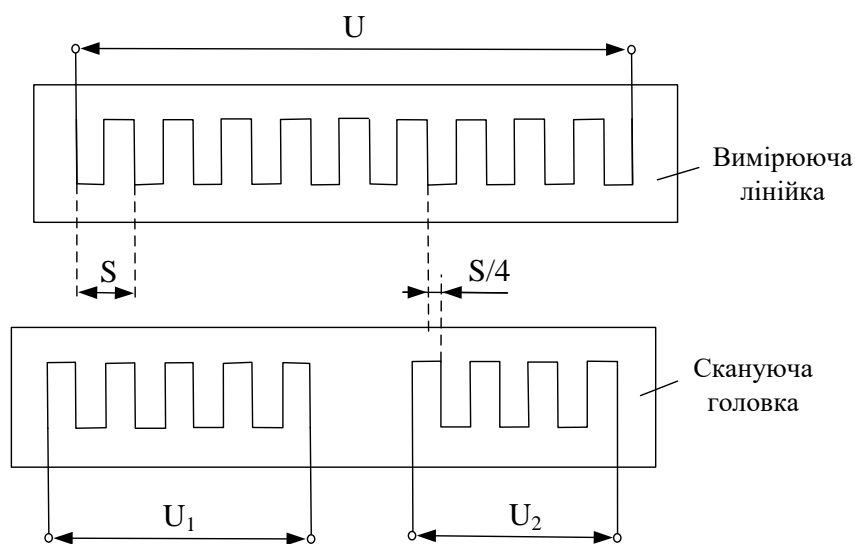


Рисунок 3.24 – Принцип розміщення обмоток індуктосина

У фазовому режимі на обмотки головки подаються напруги  $U_1 = U_m \sin \omega_0 t$  і  $U_2 = U_m \cos \omega_0 t$ .



Варто зазначити, що внаслідок того, що коефіцієнт взаємодуції між обмотками невеликий, частота цих напруг вибирається більшою. При цьому з обмотки лінійки знімається напруга

$$U = kU_1 \cos \varphi + kU_2 \sin \varphi,$$

де  $k$  - коефіцієнт взаємодуції;

$\varphi$  - кутове положення головки відносно лінійки.

$$\varphi = \frac{2\pi x}{S}$$

Для лінійного індуктосина

де  $S$  - крок обмотки (рис. 5.25);

$x$  - переміщення головки відносно початку кроку.

Якщо у цю формулу підставити значення  $U_1$  і  $U_2$  та зробити нескладні перетворення, то отримаємо

$$U = U_m \sin\left(\omega_0 t + \frac{2\pi x}{S}\right) \quad (3.22)$$

Отже, фаза напруги в цьому режимі пропорційна переміщенню.

В амплітудному режимі на обмотки головки подаються напруги

$$U_1 = U_m \sin \varphi_3 \sin \omega_0 t$$

$$U_2 = U_m \sin\left(\varphi_3 - \frac{\pi}{2}\right) \sin \omega_0 t = -U_m \cos \varphi_3 \sin \omega_0 t$$

де  $\varphi_3$  - задане значення переміщення, виражене в електричних градусах.

Враховуючи, що  $U = kU_1 \cos \varphi + kU_2 \sin \varphi$ , не важко одержати формулу

$$U = U_m k \sin(\varphi_3 - \varphi) \sin \omega_0 t. \quad (3.23)$$

Тобто амплітуда вихідної напруги лінійки є функцією переміщення.

### 3.5.4. Фотоелектричні датчики переміщення

Ці датчики складаються з оптичної електронної і механічної систем. Робота оптичної системи ґрунтується на застосуванні методів растра і муара, які дають можливість отримати високу точність вимірювання переміщення. У методі растра використовуються дві пластини з паралельними штрихами. Відстань між штрихами на кожній пластині постійна, але для двох пластин ця відстань відрізняється незначно. При накладанні пластин (растрів) одна на другу і їх просвічуванні спостерігаються зони густіших і рідших штрихів (рис. 3.25). Переміщення одного растра відносно іншого у напрямку, перпендикулярному штрихам, викликає переміщення зон згущення у тому самому напрямку, але значення цього переміщення  $x$  виявляється значно більшим, ніж значення переміщення  $x$ , що вимірюється. При цьому справедлива формула

$$\tau = \frac{x}{1 - \frac{b}{a}} \quad (3.24)$$

де  $a$  і  $b$  - відстані між штрихами на пластинах.

Описане явище носить назву оптичної редукції.

У методі муара растри на двох пластинах мають однаковий крок, але одні відносно інших розмішені під невеликим кутом  $\alpha$ . При накладанні растрів і їх просвічуванні спостерігаються світлі і темні смуги, які йдуть поперек штрихів. Ці смуги називають комбінаційними або муаровими. Переміщення одного з растрів призводить до значно більшого зміщення муарових смуг в напрямку, перпендикулярному до переміщення растра. Тобто так само відбувається оптична редукція. Значення цього переміщення визначається за формулою

$$\tau = x / \sin \alpha \quad (3.25)$$

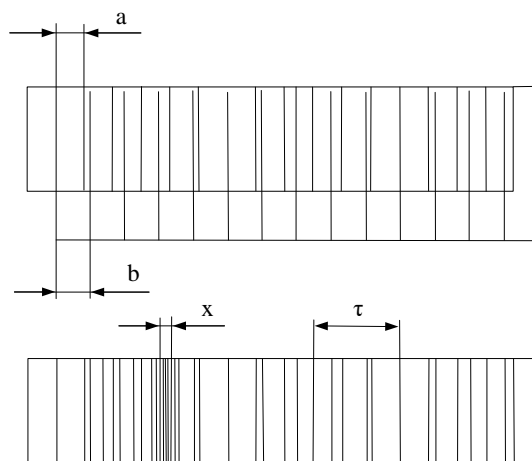


Рисунок 3.25 – Ілюстрація методу растра

Одна з пластин у лінійних датчиків називається растровою лінійкою (шкалою), а у колових датчиків - растровим диском. Друга пластина у датчиків обох типів дістала назву індикаторної пластини.

На індикаторній пластині растрові штрихи розміщені у двох зонах (секторах), які зсунуті одна відносно одної на відстань в  $(n \pm 1/4)$ , де  $n$  - ціле число. При цьому оптична схема виглядає так, як це показано на рис. 3.26.

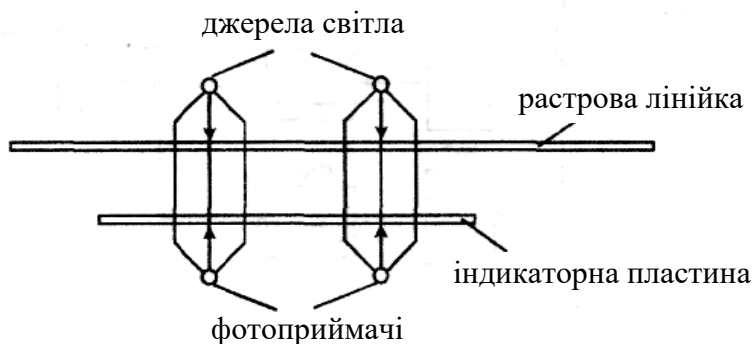


Рисунок 3.26 – Схема оптичної системи лінійного фотоелектричного перетворювача переміщення

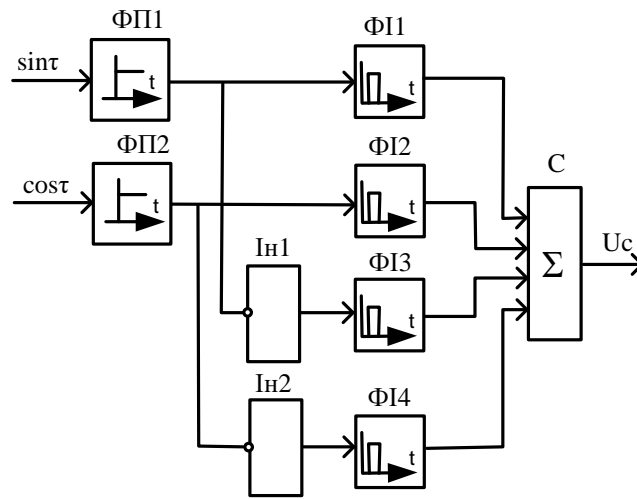
Джерела світла, фотоприймачі та індикаторна пластина закріплені нерухомо одне відносно другого і утворюють один конструктивний вузол, який називається перетворюючою головкою. Як правило, перетворююча головка на об'єкті

закріплюється на нерухомій частині, а растрова лінійка - на рухомій. Це пов'язано з тим, що до перетворюючої головки підходять електричні проводи.

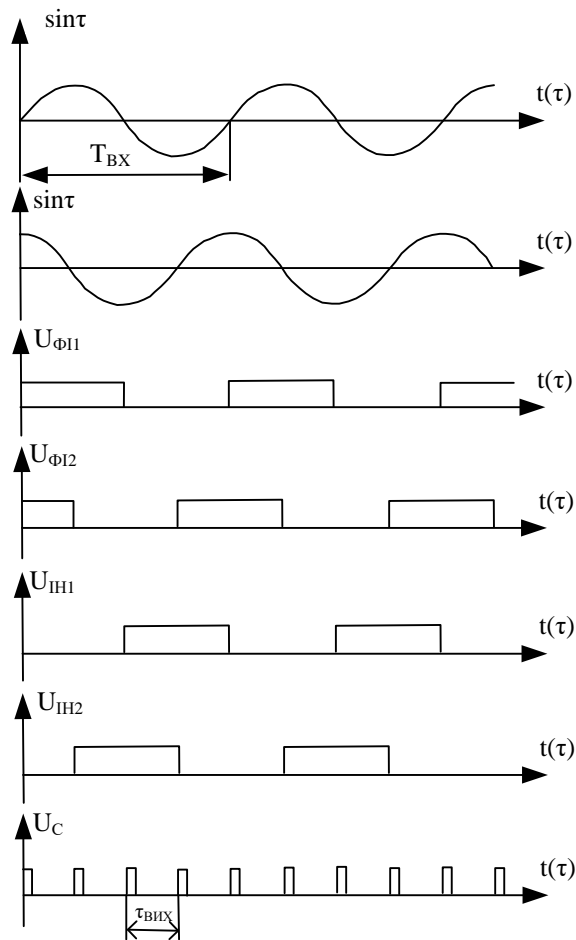
Світловий потік, що попадає на фотоприймачі, перетворюється в електричні сигнали ( $\sin t$  і  $\cos t$ ), що змінюються за законом, близьким до синусоїдного. Наявність у датчику двох каналів, зсунутих на чверть періоду, дає можливість зменшити дискретність перетворювача, під якою вважається мінімальне переміщення, що викликає зміну вихідного сигналу, і визначити напрямок вихідного сигналу. Ці задачі розв'язує електрична схема перетворювача.

Першу задачу розв'язує вузол перетворення сигналів (рис. 3.27а). Він має у своєму складі функціональні перетворювачі ФП1 і ФП2, які реагують на знак відповідного вхідного сигналу, інвертори Ін1 і Ін2, формувачі імпульсів ФІ1 - ФІ4 і суматор С. Формувачі імпульсів формують вузькі вихідні імпульси по передньому фронту вхідних. Роботу схеми ілюструє діаграма, показана на рис. 3.27б. Вона побудована для постійної швидкості  $v$  переміщення  $t$  робочого органа ( $\tau = vt$ ), тому  $\tau \equiv t$ . Перетворення сигналів характеризує коефіцієнт перетворення  $K_{\Pi} = T_{\text{вх}}/T_{\text{вих}}$ . Для діаграми на рис. 3.27б  $k_{\Pi} = 4$ . Збільшення кількості імпульсів на виході і підвищення тим самим точності вимірювання можна досягнути, якщо використовувати інтерполятори [9], які виконують додаткове ділення періоду вихідних імпульсів на 5 або на 10.

Напрямок переміщення визначається за допомогою дискримінатора. В його схемі (рис. 3.28а) використовуються формувачі імпульсів ФП і ФІ2 попередньої схеми, а також два елементи "І" - "І"1 та "І"2. Його роботу для одного з напрямків переміщення ілюструє діаграма, показана на рис. 3.28б. Не важко переконатись, що якщо напруга  $U_{\text{ФІ2}}$  буде випереджати напругу  $U_{\text{ФП}}$  на чверть періоду, то імпульси з'являться на виході елемента "І"2.

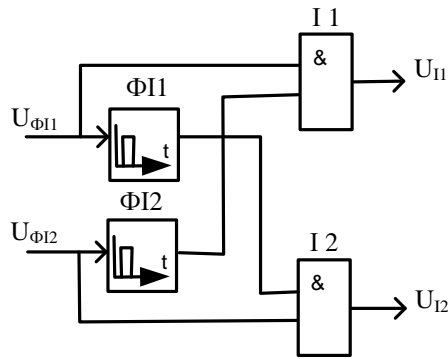


a)

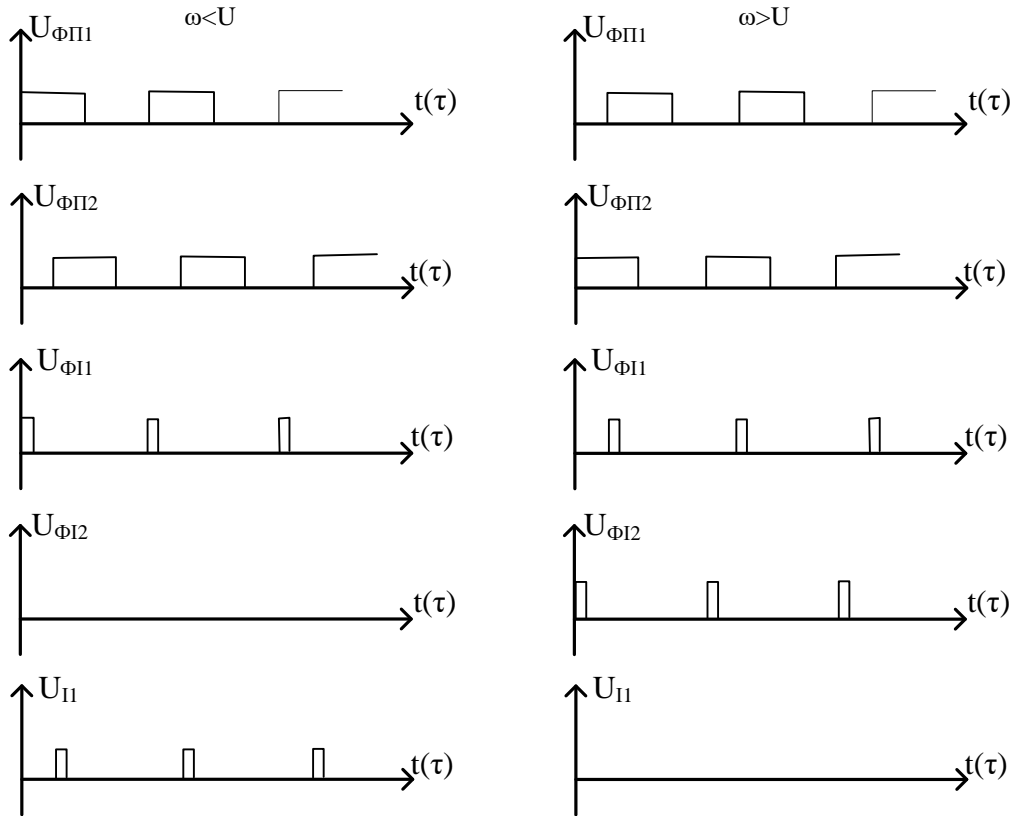


б)

Рисунок 3.27 – Функціональна схема (а) і діаграма роботи (б) вузла перетворений сигналів



a)



б)

Рисунок 3.28 – Функціональна схема (а) і діаграма роботи (б) дискримінатора напрямку переміщення

На додаток, до вимірювальних доріжок на індикаторних пластинах і лінійках передбачається ще одна коротка доріжка, яка використовується для формування фіксованої опорної мітки (імпульсу) абсолютного положення. Нуль-мітка використовується для створення єдиної системи початку відліку на об'єкті у разі відключення напруги живлення або збоїв у роботі системи керування.

Залежно від типу перетворювача нуль-мітка може формуватись при різних положеннях знімальної головки відносно лінійки (по краях, посередині тощо).

### 3.5.5. Цифрові кодуючі перетворювачі переміщення

У кодових датчиках кожному положенню виконавчого органа механізму відповідає певна кодова комбінація, яка є числовим еквівалентом цього положення.

Кодові датчики використовуються для вимірювання лінійного (кодові лінійки) або кутового (кодові диски) положення.

Найбільшого поширення у системах автоматизованого електроприводу з числовим програмним керуванням набули кодові датчики у двійковому коді (рис. 3.29). При цьому значення "0" відповідає прозорим ділянкам, а значення "1" – затемненим. Лінійка просвічується за допомогою джерел світла, а інформацію зчитують світлочутливі елементи  $b_0 - b_4$ , які розташовані напроти джерел світла з іншого боку лінійки. При цьому залежність вихідного числа  $N$  (десятькового) від переміщення  $l$  матиме ступінчасту форму (рис. 3.30).

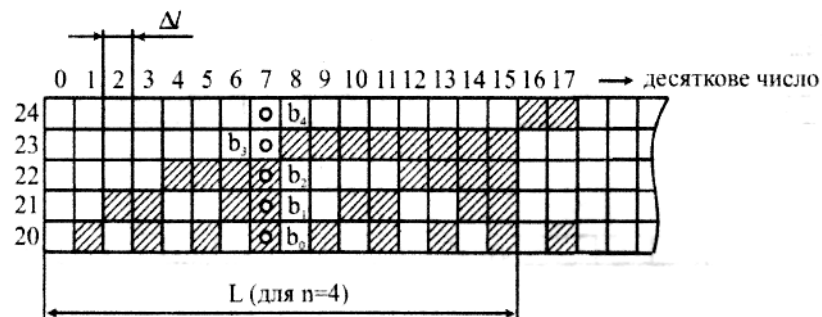


Рисунок 3.29 – Кодова лінійка з маскою у двійковому коді

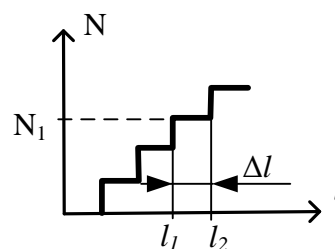


Рисунок 3.30 – Залежність вихідного числа від переміщення

В межах інтервалу дискретності перетворювача  $\Delta l = L / 2^n$ , де  $L$  – довжина лінійки;  $n$  – кількість розрядів двійкового числа;  $2^n$  – десяткове число (він не реагує на зміну вхідної величини). То ж переміщенню  $l_1$  і  $l_2$  буде відповідати число  $N_1$ . Очевидно, цьому числу варто приписувати значення всередині цього інтервалу. При цьому максимальна похибка не буде перевищувати  $\pm \Delta l / 2$ , тобто

$$\delta = \pm \frac{\Delta l}{2} = \pm \frac{L}{2^{n+1}} \quad (3.26)$$

Вказана похибка викликана дискретністю перетворювача. Вона зменшується при збільшенні числа розрядів. Але їх можна збільшувати до певних меж. Зокрема, для вимірювання кутових переміщень застосовують декілька кодових дисків на 3-4 розряди кожний, які з'єднують з вихідним валом через вимірювальний редуктор з передавальним відношенням, різним для кожного диска (рис. 3.31). Практично реалізують 9-10 розрядів, що відповідає інтервалу дискретності  $2^1 - 42'$ .

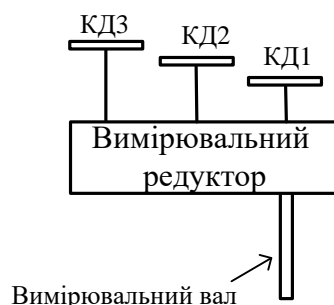


Рисунок 3.31 – Цифровий датчик кута з трьома кодовими дисками

Крім похибки, викликані дискретністю, існує ще похибка відтворення, зумовлена неоднозначністю зчитування. Вона виникає внаслідок того, що елементи зчитування мають певні мінімальні розміри і їх не можна абсолютно точно розташувати на одній лінії. Наприклад, якщо елемент  $b_3$  (рис. 3.32) зміщений праворуч, то замість числа 7 можна прочитати 15. Для виключення цієї похибки застосовують V-подібний спосіб відтворення або циклічні коди.

При V-подібному способі відтворення у молодшому розряді встановлюється один чутливий елемент, а в усіх інших – по два, які зсунуті на півкроку праворуч і ліворуч відносно чутливого елемента попереднього розряду (рис. 3.32). Вибір чутливого елемента



для зчитування інформації здійснює спеціальна логічна схема залежно від рівня сигналу в молодшому розряді. При нульовому сигналі зчитування йде з випереджуючого елемента, а при одиничному - з відстаючого.

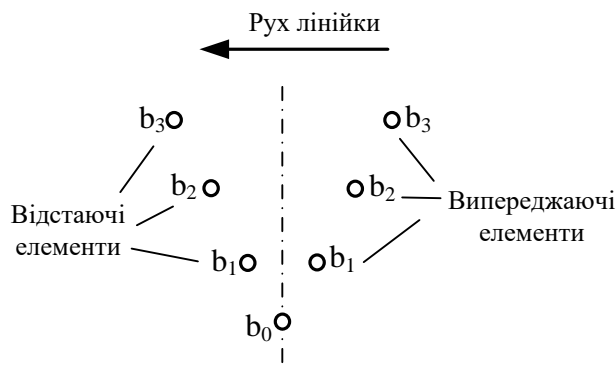


Рисунок 3.32 – Розташування чутливих елементів при V-подібному способі зчитування

Циклічний код будується в такий спосіб, що при зміні будь-якого числа на одиницю молодшого розряду зміна кодової комбінації проходить тільки в одному розряді. Тому у датчиках з циклічним кодом похибка відліку не перевищуватиме ціни молодшого розряду. Потрібно зауважити, що при цьому необхідна спеціальна логічна схема для переводу циклічного коду у двійковий або десятковий код.

### 3.6. Датчики імпульсів

Датчики імпульсів використовують в системах запалювання двигунів внутрішнього згоряння. Вони потрібні для подачі сигналу на запалювання свічки. Датчики імпульсів можуть бути контактні і безконтактні. Безконтактні мають такі переваги над контактними:

- зменшується зношування;
- підвищується точність;
- є можливість керувати випередженням моменту запалювання за допомогою електронних пристроїв, які мають ширші можливості порівняно з механічними регуляторами.

Вказані переваги привели до того, що в сучасних системах запалювання автомобілів використовують тільки безконтактні датчики імпульсів, які ще називають генераторами імпульсів.

### 3.6.1. Оптичний датчик імпульсів

Оптичний датчик імпульсів складається з сегментованого диска, який закріплений на валу розподільвача (рис. 3.33). Він перекриває інфрачервоний промінь, який спрямований на фототранзистор. Протягом часу, поки фототранзистор освітлений, через первинну обмотку котушки запалювання протікає струм. Коли диск закриває промінь, датчик посилає в електронний блок керування імпульс, який перериває протікання струму в котушці, і тим самим генерує іскру в свічці.

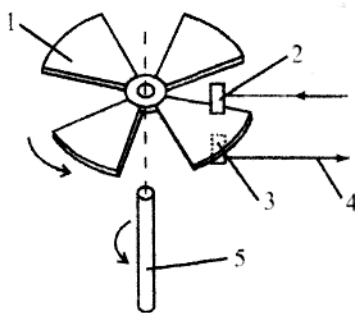


Рисунок 3.33 – Оптичний датчик імпульсів: 1 - диск; 2 - інфрачервоний випромінювач; 3 - фототранзистор; 4 - імпульсний сигнал; 5 - вал розподільвача

Джерелом інфрачервоного випромінювання є напівпровідниковий діод з арсеніду галію. Також як джерело світла можна використовувати світлодіод.

Існує декілька різновидів такого роду датчиків: одні подають імпульси на генерацію іскри у момент закриття диском джерела світла, інші – в момент відкриття. Як правило, такі датчики задають постійний кут увімкненого стану котушки.

### 3.6.2. Індукційний датчик імпульсів

Якщо помістити котушку у змінне магнітне поле, то в ній індукується ЕРС, яка залежить від швидкості зміни магнітного поля, кількості витків котушки, знака зміни магнітного поля (наростання чи спадання). Цей принцип використовують в індукційних датчиках для керування моментом запалювання. На рис. 3.34 показана схема індукційного датчика імпульсів. Він складається із статора, постійного магніту, обмотки та зубчастого ротора,

який встановлюється на вал розподільвача запалювання. Кількість зубців ротора залежить від кількості циліндрів двигуна. При обертанні ротора в обмотці статора, згідно з законом індукції, наводиться змінна ЕРС. Коли один із зубців ротора наближається до полюса статора, в обмотці наростає ЕРС. При збігу фронту зубця ротора з полюсом статора ЕРС досягає максимального значення, потім швидко змінює знак і починає збільшуватись у протилежному напрямку до максимуму при віддаленні зубців.

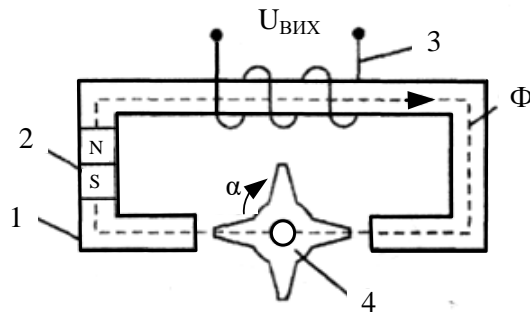


Рисунок 3.34 – Індукційний датчик імпульсів: 1 - статор; 2 - постійний магніт; 3 - обмотка; 4 - ротор

На рис. 3.35 показано характер зміни сигналу вихідної напруги від кута повороту колінчастого вала а при різних частотах обертання ротора  $n$ . З цього рисунка видно, що вихідна напруга швидко змінюється від додатного максимуму до від'ємного, тому перехід через нуль (точка 0) можна використати для керування системою запалювання при отриманні точного моменту утворення іскри. Однак точку переходу через нуль важко детектувати за допомогою електроніки, оскільки схема є чутливою до перешкод. Тому для отримання моменту утворення іскри використовують точки  $a$  і  $b$ , які вибираються на допустимо низьких рівнях. При цьому забезпечується нечутливість схеми детектування до перешкод і надійне спрацювання її в період пуску двигуна.

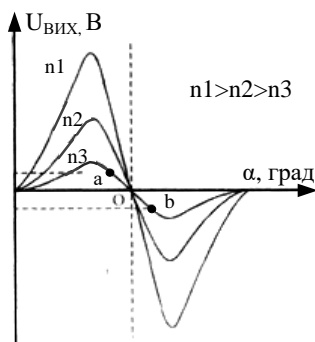


Рисунок 3.35 – Характер зміни вихідного сигналу індукційного датчика від кута повороту колінвала при різних частотах обертання ротора

### 3.6.3. Датчик Холла

Завдяки розвитку мікроелектроніки широкого поширення набули датчики, робота яких базується на ефекті Холла.

Ефект Холла виникає в напівпровідниковій пластині, яка знаходиться в магнітному полі і через неї протікає струм (рис. 3.36). Якщо помістити напівпровідникову пластину завтовшки  $h$  в магнітне поле так, щоб напрямок магнітної індукції  $B$  магнітного поля був перпендикулярним до площини пластини, і пропустити через пластину струм  $I$ , то між двома протилежними гранями пластини виникає ЕРС Холла

$$E_x = k \frac{I \cdot B}{h} \quad (3.27)$$

де  $k$  - стала Холла.

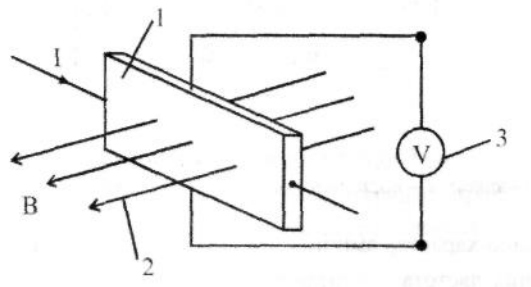


Рисунок 3.36 – Ефект Холла:

1 - напівпровідникова пластинка; 2 - магнітна індукція; 3 - ЕРС Холла

Зміна магнітного поля спричинить зміну ЕРС Холла, яку можна використати для керування розрядом свічки.

Конструкція датчика Холла показана на рис. 3.37. Магнітне поле, що створюється постійним магнітом, може перериватися крильцями ротора, який обертається на валу розподільвача запалювання. Кількість крилець дорівнює кількості циліндрів двигуна. Через напівпровідникову пластину пропускається струм в 30 мА. При цьому напруга Холла приблизно дорівнюватиме 2 мВ, тому напівпровідникову пластину об'єднують в одне ціле з інтегральною мікросхемою, яка підсилює і формує сигнал.

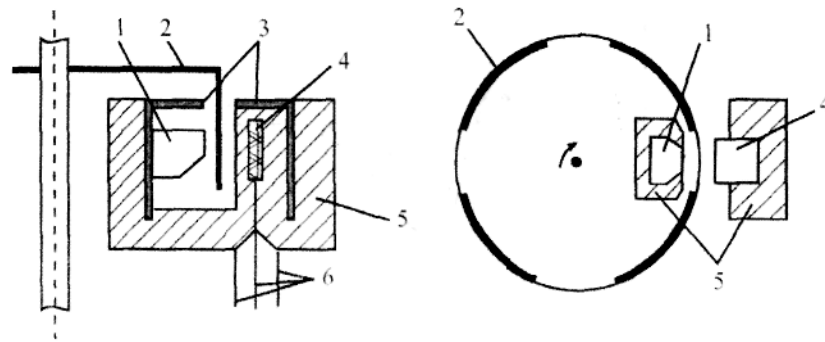


Рисунок 3.37 – Датчик Холла;

1 -магніт; 2 - ротор; 3 - магітоіцтоводії; 4 - мікросхема;  
5 - пластмасовий корпус; 6 - шинній

При відкритому зазорі між постійним магнітом та пластиною магнітна індукція є максимальною, і на виході датчика буде максимальною і напруга. При закритому зазорі магнітний потік переривається, і напруга на виході датчика буде мінімальною. При високій напрузі датчика Холла первинна обмотка є відімкненою і свічка дає розряд. Іншими словами, утворення іскри відбувається в момент відкривання зазору між магнітом і пластиною.

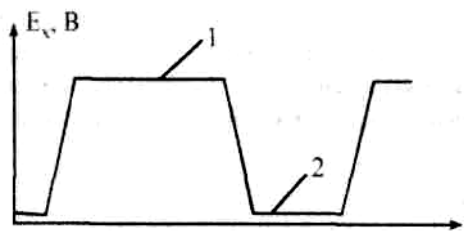


Рисунок 3.38 – Форма імпульсів на виході датчика Холла

Для прикладу, на рис. 3.38 показана форма імпульсів на виході датчика Холла фірми Bosch, у якого ротор має співвідношення крильце/вікно = 70:30. Чутливість елемента Холла залежить від співвідношення між довжиною та шириною пластини і збільшується при зменшенні її товщини і зростанні температури. Для виготовлення елементів Холла використовують кремній, германій, арсенід галію тощо.

### 3.7. Датчик положення дросельної заслінки

Дані про положення дросельної заслінки (відкрита, частково закрита, закрита) необхідні блоку керування запалюванням автомобіля для розрахунку довжини електричних імпульсів керування форсунками та визначення оптимального кута запалювання. Сигнали крайніх положень заслінки свідчать про те, що двигун має повне навантаження або обертається на неробочому ходу. Будова та електрична схема датчика показані на рис. 3.39.

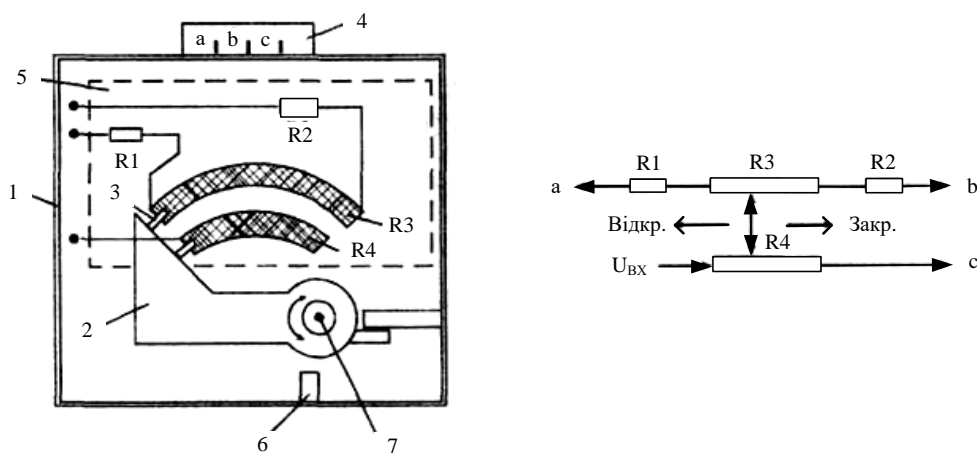


Рисунок 3.39 – Будови та електрична схема датчика положення дросельної заслінки:

1 - корпус; 2 - поворотна втулка; 3 - рухомий контакт; 4 - виводи датчика; 5 - плата:

6 - упор; 7 - вісь дросельної заслінки

Датчик встановлюється на корпусі вузла дросельної заслінки і механічно з'єднується з віссю дросельної заслінки. Положення заслінки у датчику визначається за величиною спаду напруги на змінному опорі датчика, яка подається на вхід блока керування для обробки.

Як видно із електричної схеми, поворот осі дросельної заслінки спричиняє зміну опору R3-R4, а, отже, і вихідної напруги, яка знімається з виводів b і c.

У справному датчику опір між контактами a і b має бути 2 кОм. Між виводами b і c опір у закритому стані заслінки дорівнює 0.7-1,38 кОм, а у відкритому - 2,6 кОм.

В деяких системах запалювання сигнали крайніх положень дросельної заслінки використовуються для зупинки подачі палива при перевищенні допустимої частоти обертання вала двигуна.

### 3.8. Датчик детонації

Основу датчика становить п'єзоелектричний перетворювач. Його робота ґрунтується на явищі, яке називається п'єзоелектричним ефектом. Цей ефект проявляється у деяких кристалах у вигляді появи на їх гранях електричних потенціалів різних знаків при стиску кристала у певному напрямі. Поява зарядів на гранях кристала залежно від стиску називається прямим п'єзо ефектом. Існує й зворотний п'єзо ефект: при подачі напруги на грані кристала змінюються його розміри.

Найчастіше як кристал використовують кварц, сегнетову сіль. Остання має набагато більше виражений п'єзо ефект (при однаковій силі стиску потенціал, що з'являється на гранях, у 1000 разів більший, ніж у кварцу), але є більш чутливою до зміни температури і вологості.

Датчик детонації є кварцовою пластиною, яка закріплюється на блоці циліндрів і притискається ззовні масивним диском, який називається сейсмічним (рис. 3.40).

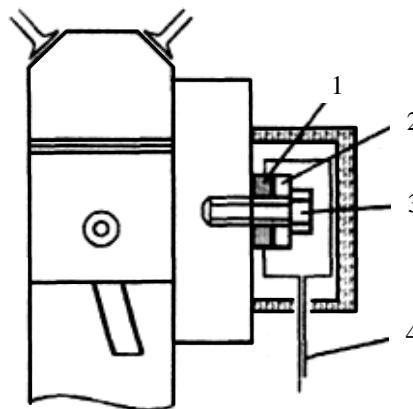


Рисунок 3.40 – Датчик детонації: 1 - п'єзокристал;  
2 - сейсмічний диск; 3 – болт; 4-виводи

П'єзодавач генерує електричну напругу, пропорційну зміні механічного тиску на його пластини. Використання двох чи більше пластин приводить до збільшення вихідної

напруги, оскільки вихідні сигнали пластин додаються. При детонації вібрація блока циліндрів автомобіля сягає такого значення, при якому диск, який притиснений до пластини, починає ще більше стискати її. У результаті на гранях кварцу з'явиться сигнал напруги.

Таким чином, сигнали з кожного циліндра подаються у блок керування запалюванням для оцінки їх рівня. Попередньо блок керування визначає середній рівень вібрацій для кожного циліндра. Цей рівень постійно адаптується до умов, що змінюються. Якщо сигнал детонації від якого-небудь циліндра у момент запалювання (вибуху) суміші перевищує допустимий для цього циліндра рівень, то блок керування зменшує випередження у цьому циліндрі на невеликий кут (наприклад  $1.5^\circ$ ). Процес повторюється для кожного циліндра у кожному циклі. Якщо детонації немає, то блок керування у кожному циліндрі поступово збільшує кут випередження. Таким чином, кожний циліндр налаштовується індивідуально на роботу з найбільшою ефективністю. На рис. 3.41 показано блок-схему керування запалюванням за сигналом детонації.

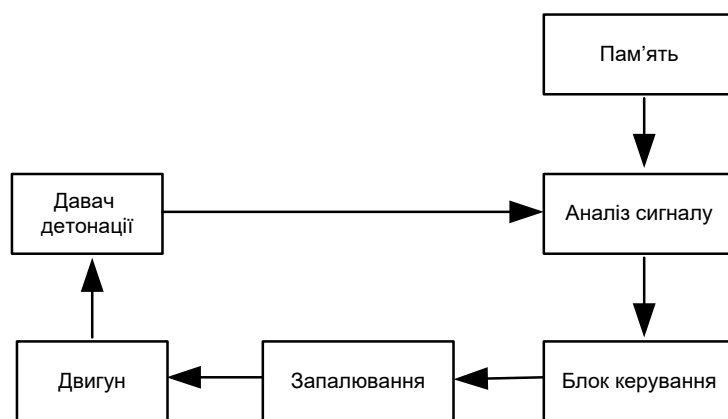


Рисунок 3.41 – Система керування запалюванням і зворотнім зв'язком за сигналом детонації

За несправності системи, наприклад, при відмові датчика чи обриві дротів, система керування зменшує випередження до безпечного рівня.



### 3.9. Датчик витрати повітря

Датчик призначений для визначення кількості повітря, що витрачається на запалювання циліндрів під час роботи двигуна автомобіля. Датчик встановлюється у впускній системі після повітряного фільтра. Будова датчика показана на рис. 3.42.

В корпусі датчика встановлено кільце, всередині якого є нитка платини (чутливий елемент) діаметром 0,07-0,1 мм і термокомпенсаційний опір. Електронний модуль підтримує температуру платинової нитки близько 150 °С. Під час роботи двигуна, повітря, що подається в циліндри, проходить через корпус і кільце, охолоджуючи платинову нитку. Електрична потужність, яка витрачається на підтримання температури сталою на рівні 150°С, є тим параметром, який визначає кількість повітря, що пройшло через датчик. Оскільки температура платинової нитки залежить від повітря, що проходить, то термокомпенсаційний опір вносить відповідні корективи у роботу електронного модуля. Іншими словами, через термокомпенсаційний опір реалізується зворотний зв'язок за температурою повітря.

Сигнали від датчика витрати поступають в систему керування запаленням і використовуються для визначення оптимальної тривалості електричних імпульсів, які відкривають форсунки. В такий спосіб визначається необхідна кількість палива для заданої кількості повітря.

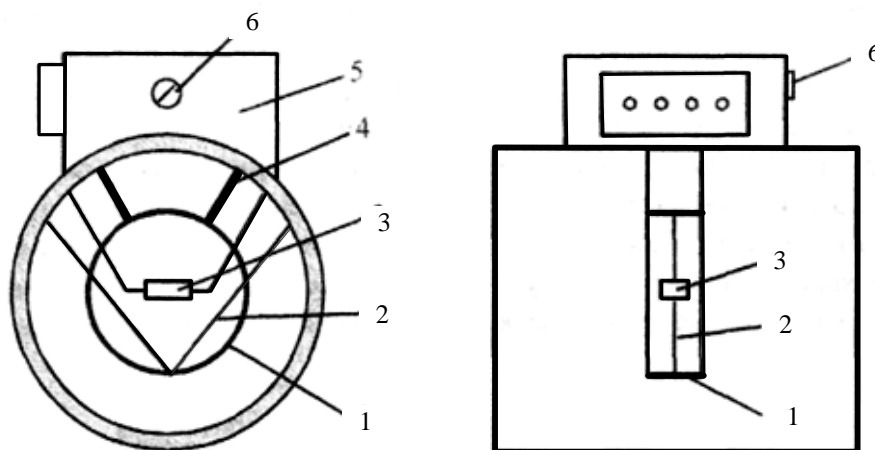


Рисунок 3.42 – Датчик витрати повітря:

1 - кільце; 2 - платинова нитка; 3 - термокомпенсаційний опір; 4 - кронштейн кільце; 5 - електронний модуль; 6 - гвинт регулювання СО

В електронному модулі датчика є ще змінний резистор, за допомогою якого можна відкорегувати концентрацію оксиду вуглецю (CO) у відроблених газах у режимі роботи двигуна на неробочих обертах.

#### *Запитання для самопідготовки*

- 1. Функціональна схема датчика постійного струму і напруги.*
- 2. Будова та принцип роботи модулятора та демодулятора.*
- 3. Склад та властивості вхідних кіл датчика струму і напруги.*
- 4. Схема та принцип роботи датчика контролю параметрів двигуна зі сторони змінного струму.*
- 5. Схема та принцип роботи датчика струму на магнітодіодах.*
- 6. Схема та принцип роботи датчика з трансформатором струму.*
- 7. Схема та принцип роботи датчика електрорушійної сили.*
- 8. Схема та принцип роботи датчика активного струму.*
- 9. Види, будова та принцип роботи датчиків швидкості обертання.*
- 10. Види, будова та принцип роботи датчиків переміщення.*
- 11. Види, будова та принцип роботи датчиків імпульсів.*
- 12. Схема та принцип роботи датчика положення дросельної заслінки.*
- 13. Схема та принцип роботи датчика детонації.*
- 14. Схема та принцип роботи датчика витрати повітря.*

## 4. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

### 4.1. Основні поняття та визначення автоматки

Автоматикою називається галузь науки і техніки, яка охоплює теорію та принципи побудови автоматичних пристроїв і систем, що виконують свої функції без безпосередньої участі людини.

Автоматизацією називається застосування методів та технічних засобів автоматки для перетворення неавтоматичних процесів в автоматичні.

Автоматом називається самокеруюча виробнича машина, яка в процесі виконання технологічного процесу здійснює всі робочі та холості ходи циклу обробки, крім контролю та наладки.

Напівавтоматом називається машина, яка працює з автоматичним виробничим циклом, повторення якого потребує втручання людини.

Під комплексною автоматизацією слід розуміти таку автоматизацію, яка охоплює весь комплекс виробництва виробу (наприклад, автомобіля), коли всі стадії виробництва, починаючи з отримання вихідних матеріалів та напівфабрикатів і закінчуючи складанням, автоматизовані.

Задача автоматизації полягає не тільки у тому, щоб полегшити працю людини, але і у забезпеченні роботи виробництва з такою швидкістю, точністю, надійністю, економічністю, які людина забезпечити не може.

Для автоматизації будь-яких процесів використовують різні автоматичні системи. Залежно від функцій, які вони виконують, розрізняють системи контролю, управління, регулювання.

Система автоматичного контролю (САК). Процес контролю зводиться до перевірки відповідності об'єкта встановленим технічним вимогам. При цьому суть контролю полягає у проведенні двох основних операцій:

- ◆ отримання інформації про фактичний стан деякого об'єкта, показники його властивостей (первинна інформація);

◆ зіставлення первинної інформації із наперед встановленими вимогами, тобто виявлення відповідності або невідповідності фактичних значень параметрів потрібним.

Система автоматичного управління (САУ) застосовується для автоматичного виконання операцій, які задаються зовнішніми джерелами впливу (задаючими пристроями) на вході цієї схеми. Задаючим пристроєм може бути записана на магнітній стрічці або дискеті програма.

В цій системі управління будь-яким процесом або групою процесів здійснюється без безпосередньої участі людини. В такій схемі людина може подавати лише первісний пусковий імпульс, але часто це виконує автоматичний пристрій.

Система автоматичного регулювання (САР). САР призначена для автоматичного підтримання з заданою точністю сталості значень одної або декількох фізичних величин об'єкта регулювання, які характеризують виробничий процес. Крім того, САР може змінювати значення позначених величин за заданим законом.

Систему автоматичного регулювання можна отримати, якщо об'єднати автоматичні системи контролю та управління. Вона представляє собою автоматичну систему з замкнутим ланцюгом впливів, в якій управляючі дії виконуються внаслідок порівняння дійсного значення управляючої величини із заданим значенням. Якщо значення цих величин не однакові, то на виході виникає сигнал від їх різниці, який впливає на систему з метою зменшення різниці до нуля. Величини, що викликають відхилення параметра від заданого значення та порушення рівноваги, називають збурюючими впливами.

Автоматизація повірки засобів обчислювальної техніки, які не мають електричного виходу (стрілочні прилади, електронні та цифрові прилади з виходом тільки на візуальні пристрої), не дозволяє автоматично знімати показання та вводити їх у ЕОМ. Тому для подібних приладів рівень автоматизації повірки, і отже, ефективність, нижче, хоча і перевершують ефективність ручної повірки.

Будь-яка автоматична система складається із окремих, зв'язаних між собою та виконуючих визначені функції, конструктивних елементів, які прийнято називати елементами автоматики.

Елементи автоматики досить різноманітні за конструкцією, принципами дії, характеристиками, фізичною природою перетворюваних сигналів, задачами, які виконуються в пристроях автоматичного управління.

Елементи мають вхід і вихід. На вхід потрапляє інформація, форма якої перетворюється в іншу, необхідну для подальшого руху. Вхідна величина позначається  $X$ , а вихідна  $Y$ . Вхідною величиною можуть бути миттєві значення фізичних величин (швидкості, прискорення, струму, напруги, температури тощо). Вихідною величиною – електричний сигнал, різний за розміром та характером.

За здійснюваними функціями елементи автоматики поділяються на датчики, підсилювачі, виконавчі пристрої, реле, обчислювальні елементи, узгоджувальні та допоміжні елементи і т. ін.

Датчики сприймають інформацію, що надходить на їх вхід, про керовану величину об'єкта управління і перетворюють її в форму, зручну для подальшого використання. Більшість датчиків перетворює вхідний неелектричний сигнал  $X$  в електричний  $Y$ . Залежно від виду вхідного неелектричного сигналу датчики поділяються на датчики механічних величин (переміщення, швидкості, прискорення), теплових величин, оптичних величин та ін.

Підсилювачі – це елементи автоматики, які здійснюють кількісне перетворення: збільшення потужності вхідного сигналу (посилення). Іноді підсилювачі здійснюють поряд з кількісним перетворенням і якісне; наприклад, постійний струм в змінний, переміщення – в змінювання тиску. Залежно від виду енергії, отриманої від зовнішнього джерела, вони підрозділяються на електричні, гідравлічні та комбіновані.

Виконавчі пристрої – це елементи автоматики, які здійснюють керуючий вплив на об'єкт управління. Вони змінюють положення або стан регулюючого органу таким

чином, щоб керований параметр відповідав заданому значенню. До виконавчих пристроїв, які здійснюють керуючий вплив у вигляді сили або обертаючого моменту, який змінює положення робочого органу, відносяться силові електромагніти, електромагнітні муфти, двигуни, реле.

Реле – це елемент автоматики, у якого зміна вихідного сигналу  $Y$  проходить стрибком (дискретно) при досягненні вхідним сигналом  $X$  визначеного значення, що називається рівнем спрацьовування. Потужність вхідного сигналу  $X$ , що викликає реакцію реле, значно менша за потужність, якою може керувати реле, тому реле можна вважати і підсилювальним, і виконавчим елементом.

Обчислювальні елементи здійснюють у пристроях автоматичного управління математичні перетворення із сигналами, що надходять на їх вхід, з метою виконання заданого алгоритму роботи системи. В найпростішому випадку вони виконують алгебраїчне підсумовування, диференціювання, інтегрування, логічне складання, множення і т. ін. Найпростіші із них – це обчислювальні елементи аналогового типу, більш складні – мікропроцесор, спеціалізовані та універсальні ЕОМ.

Узгоджувальні та допоміжні елементи включаються до пристрою автоматичного управління для поліпшення його параметрів, розширення функціональних можливостей основних елементів. Це – трансформатори, редуктори, індикаторні та реєструючі прилади, сигнальні та захисні пристрої тощо.

## **4.2. Призначення і класифікація електричних апаратів**

Для нормальної експлуатації електроустаткування необхідно мати спеціальні апарати і пристрої, за допомогою яких здійснюються пуск і контроль за роботою електроустаткування, а також захист від перевантажень і аварійних режимів роботи.

**Електричними апаратами** називають електротехнічні пристрої, призначені для керування, контролю, регулювання та захисту електричних кіл і машин.

Електричні апарати підрозділяють на два види: апарати високої напруги й апарати низької напруги. Апарати першого виду працюють у мережах, номінальні напруги

яких визначаються десятками і сотнями тисяч вольт. Апарати другого виду призначаються для використання в електричних мережах напругою до 1000 В.

Крім того електричні апарати класифікують:

**1. За призначенням:**

- *комутуючі* – для вмикання та вимикання електричних кіл;
- *захисні* – для захисту електричних кіл та машин від перевантаження, коротких замикань, змін напруги та інших порушень режимів роботи електроустановок;
- *пускорегулюючі* – для здійснення пуску, реверсування, регулювання частоти обертання електричних машин, а також струму та напруги електроустановок;
- *контролюючі* – для контролю за координатами режимів електричних кіл.

**2. Залежно від конструкції контактної системи:**

- *контактні* – керування роботи електричного кола здійснюється шляхом замикання чи розмикання контактних частин;
- *безконтактні* – керування електричним режимом відбувається шляхом зміни параметра комутаційних елементів.

**3. За родом струму:**

- *постійного струму*;
- *змінного струму*.

**5. За виконанням:**

- *відкритого виконання*;
- *захищеного виконання*;
- *закритого виконання*;
- *вибухозахищеного виконання* тощо.

**6. За способом керування:**

- *напівавтоматичні* (ручні);
- *автоматичні*.

Електричні апарати можна класифікувати також і за такими ознаками: за кількістю полюсів (від одного до чотирьох) та за способом гасіння електричної дуги в апараті (за допомогою дугогасильних камер, сіток, мастила тощо).

#### **4.3. Будова та принцип дії комутуючих електричних апаратів ручного керування**

**Комутуючі електричні апарати** призначені для вмикання та розмикання електричних кіл за командою оператора, тобто приводяться в дію рукою. До них відносяться рубильники, перемикачі, кнопкові пускачі, пакетні вимикачі, штепсельні роз'єми, мікроперемикачі і кулачкові перемикачі.

**Рубильники** застосовуються в основному в якості роз'єднувачів для розмикання і замикання електричного кола вручну і лише рідко для вмикання та розмикання різного технологічного устаткування.

**Перемикачі** призначені для комутації електричних кіл.

На відміну від рубильників, перемикачі мають дві групи нерухомих контактів. Перемикачі бувають поворотного типу, універсальні та малогабаритні.

**Кнопковий пускач** представляє собою триполюсний вимикач, замикання контактів якого здійснюється шляхом натискання на кнопку "Пуск". Розмикання контактів відбувається при натисканні на кнопку "Стоп".

**Універсальні перемикачі** для перемикання в електричних колах (рис. 4.1) складаються із секцій, а кожна секція – з нерухомого контакту 4, лівого 3 і правого 5 рухомих контактів, ізоляційних кулачкових шайб 6, які встановлюються на центральний валик 7. Рухомі контакти закріплені на скобах 1. Під час повороту рукоятки повертаються ізоляційні кулачкові шайби. При попаданні шплінта 2, розміщеного на скобі, у западину кулачкової шайби, рухомий контакт замикається з нерухомим.



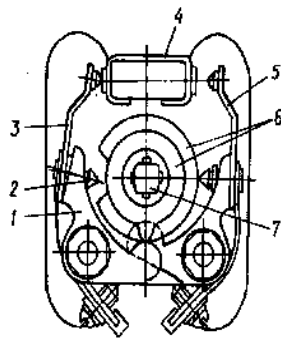


Рисунок 4.1 – Секція універсального перемикача:

1 – скоба; 2 – шплінт; 3 – лівий рухомий контакт; 4 – нерухомий контакт; 5 – правий рухомий контакт; 6 – кулачкові шайби; 7 – центральний валик

**Малогабаритні перемикачі** подібні за конструкцією до універсальних і використовуються для перемикання електричних кіл постійного та змінного струмів, а також для дистанційного керування комутуючими апаратами.

**Пакетний вимикач** призначений для комутації електричних двигунів малої потужності, електричних кіл керування та сигналізації (рис. 4.2).

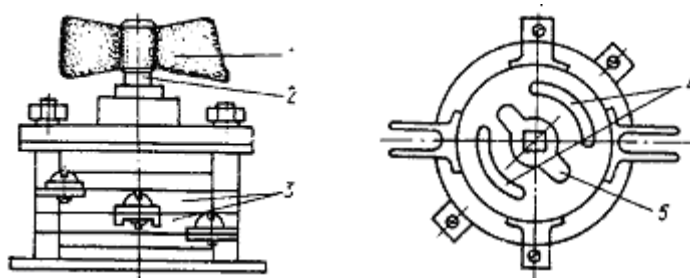


Рисунок 4.2 – Пакетний вимикач:

1 – ручка увімкнення; 2 – стержень; 3 – пакети;  
4 – нерухомі контакти; 5 – рухомі контакти

Він складається з набору ізоляційних однополюсних кілець, на яких розміщені нерухомі контакти 4. Рухомі контакти з'єднані з рукояткою вимикача. За допомогою пружини, вмонтованої в ручку вимикача, контакти при перемиканні миттєво замикаються, запобігаючи утворенню іскор та дуг.

Найчастіше використовуються одно-, дво- і триполюсні вимикачі.

Крім пакетних вимикачів широко застосовуються і пакетні перемикачі. У пакетному перемикачі тільки одне положення відповідає вимкненому стану устаткування, а інші – увімкненому.

Пакетні вимикачі і перемикачі представляють собою компактні електричні апарати, призначені для досить складних перемикачів у декількох електричних колах і мають великі переваги в порівнянні з рубильниками. Вони зручні в монтажі, значно компактніші від рубильників і монтується з виводом на панель тільки рукоятки, що забезпечує безпеку роботи обслуговуючого персоналу. Контактна система дає змогу керувати одночасно великою кількістю електричних кіл. Дуга в пакетних вимикачах і перемикачах гаситься в замкнутому об'ємі, без викиду полум'я і газів. Вимикачі мають високу вібро- і ударостійкість.

**Вимикачі освітлення** бувають різних типів. Найчастіше в освітлювальних електромережах використовують вимикачі клавійного типу (рис. 4.3).

В неробочому розімкнутому положенні рухомий 2 та нерухомий 3 контакти розімкнуті. При натисканні на клавішу 1, фіксатор 4, стискаючи пружину 5, переміститься вниз, внаслідок чого контакти замкнуться.

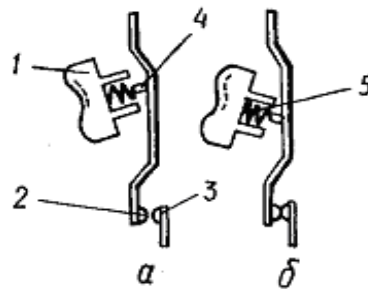


Рисунок 4.3 – Вимикач із клавійним приводом:

а – розімкнуте положення; б – увімкнуте положення;

1 – клавіша; 2 – рухомий контакт; 3 – нерухомий контакт;

4 – фіксатор; 5 – пружина

**Штепсельні роз'єми.** Для підключення до мережі переносних і пересувних електроспоживачів застосовуються штепсельні роз'єми, що виготовляються різного

типу, виду і розміру. Контакти в штепсельному роз'ємі розташовані в глибині пластмасового корпусу, що охороняє від ураження електричним струмом.

**Тумблери** – це однополюсні перемикачі або вимикачі, які призначені для комутації малопотужних споживачів (рис. 4.4).

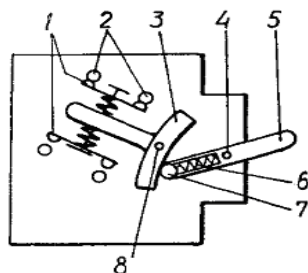


Рисунок 4.4 – Тумблер:

1 – рухомий контакт; 2 – нерухомий контакт; 3 – дугова планка; 4 і 8 – осі; 5 – важіль;  
6 – пружина; 7 – кулька

Під час переміщення поворотного важеля 5 кулька 7 буде пересуватися по дуговій планці 3 і, при переході через центральне положення, контакти, під дією пружини, перемкнуться.

**Мікровимикачі** теж призначені для вмикання та розмикання електричних кіл. Вони невеликих розмірів, прості і надійні в експлуатації і тому мають широке використання.

#### 4.4. Апарати контролю та керування (пускорегулюючі)

Ці апарати здійснюють пуск, гальмування, реверсування та зміну швидкості обертання електричних машин, забезпечують виконання технологічних операцій в заданій послідовності.

До апаратів контролю відносяться програмні пристрої, манометри, терморегулятори, реле часу. Ці апарати встановлюються в електроплитах, електрожарочних шафах, печах СВЧ і інших видах устаткування. Основними частинами апаратів контролю є чутливі елементи – датчики, що сприймають зміну

режиму роботи апарата. Робочий елемент сприймає імпульс чутливого елемента і відповідно вмикає або відмикає пусковий пристрій даного устаткування.

Для контролю, вмикання і регулювання електричних теплових апаратів (котлів, водонагрівачів, кип'ятильників і т. ін.) застосовується станція управління. Станція управління забезпечує автоматичне регулювання роботи котла, підтримуючи заданий режим.

**Контролери** – багатоступінчасті апарати із ручним керуванням, призначені для зміни схем головних електричних кіл двигуна або збудження. Крім того, контролери застосовують для зміни опорів, включених в електричні кола. Пристрій контролера дає змогу, на відміну від рубильника, вимикати електричні кола не одночасно, а у визначеній послідовності.

Контролери використовують, в основному, при дотриманні особливих умов пуску електродвигунів, їх реверсуванні та регулюванні частоти обертання.

Контролери за конструктивним виконанням поділяють на барабанні, кулачкові і плоскі.

На рис. 4.5 зображена схема дії однієї ланки контролера кулачкового типу.

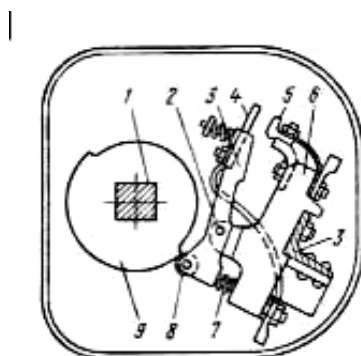


Рисунок 4.5 – Схема дії контролера кулачкового типу

Робочі контакти 4 і 5 закріплені на ізоляційних основах – рухомій 3 і нерухомій 6. На рухомій основі, яка може повертатися довкола осі 2, закріплено ролик 8. На валу 1 закріплена кулачкова шайба 9. Якщо вона дотикається до ролика 8 поверхнею меншого радіуса, то контакти замкнені дією пружини 8. Повертаючи вал 1 і кулачкову шайбу 9 таким чином, що більший радіус шайби буде дотикатися до ролика 8, контакти можна розімкнути.

Таких кулачкових елементів вздовж вала 1 можна встановити стільки, скільки потребує схема керування електричним колом.

**Барабаний контролер** унаслідок малої зносостійкості контактів має обмежене число вмикань у годину (до 240). Тому він застосовується при рідких вмиканнях.

**Командоапарат** – пристрій, призначений для перемикання в колах керування силових електричних апаратів (контакторів). Командоапарати можуть мати ручний привод (кнопки, ключі керування, командоконтролери) або приводитися в дію контрольованим механізмом .

Найпростішим командоапаратом є кнопка керування. Кнопка використовується для різних схем пуску, зупинки і реверса двигунів шляхом замикання і розмикання кіл електромагнітів контакторів, що комутують головне електричне коло.

**Шляхові і кінцеві вимикачі.** Призначені для замикання контактів електричних кіл з невеликим струмом залежно від положення робочого органа керуючої машини або апарата. При русі штока вниз під дією робочого органа машини фігурна пружина переводить рухомий контакт із верхнього положення в нижнє. У результаті одні контакти замикаються, а інші контакти розмикаються. Плавність замикання – розмикання контактів, а також достатнє зусилля притиснення контактів забезпечуються плоскою пружиною. Усі деталі розміщені в пластмасовому корпусі.

Кінцеві вимикачі – частковий випадок шляхових, оскільки кінцеві вимикачі служать для комутації електричних кіл у крайніх положеннях робочого органа керування машини.

#### **4.5. Апарати захисту та їх види**

Всі електроустановки захищаються від ненормальних (аварійних) режимів роботи, оскільки останні призводять до пошкодження електрообладнання, перебоїв в електропостачанні споживачів, а також до виникнення пожеж і загорань в електромережах.

Такими аварійними режимами є: струмове перевантаження; коротке замикання; відхилення напруги; витік струму (винос потенціалу) та обрив проводів.

Надмірні струми перевантаження і короткого замикання в основному виникають в електричному колі, коли його опір виявляється набагато меншим від номінального опору. Причинами можуть бути ушкодження електроізоляції, перевантаження двигуна. Під дією цих величезних струмів за короткий час може виділитися така кількість тепла, що перегріє електропроводку й електроустаткування вище критичної для ізоляції температури. Якщо не забезпечити своєчасного розімкнення електричного кола, то відбудеться загоряння ізоляції проводів і електроустаткування.

Пристрої, які захищають електроустаткування від вищезгаданих аварійних режимів, називаються апаратами захисту. **Апарати захисту** самостійно вимикають електричне коло в разі аварійних режимів роботи.

**До апаратів захисту відносяться:**

- плавкі запобіжники;
- автоматичні вимикачі;
- теплові та температурні реле;
- диференційні реле (реле витоку струму, пристрої захисного вимкнення, пристрої вмонтованого температурного захисту тощо);
- розрядники.

Апарати захисту виготовляють не на будь-яке значення струму, а тільки на певне значення, згідно зі стандартами.

#### ***4.5.1. Плавкі запобіжники***

**Плавкий запобіжник** – це пристрій захисту, який спрацьовує шляхом розплавлення спеціальної плавкої вставки.

За зовнішньою формою і лінійними розмірами вони можуть бути різними, але завжди складаються з: корпусу; контактів та плавкої вставки.

**Корпус** виготовляється з електроізоляційного та теплостійкого негорючого матеріалу, розрахованого на робочу напругу в мережі (порцеляна, скло, стеатит, карболіт, фібра та ін.).

**Контакти** виконуються у вигляді роз'ємних затискачів, за допомогою яких запобіжник вмикається в електричне коло.

**Плавка вставка** – спеціальний тонкий дротик чи пластина, які виготовлені з

легкоплавкого матеріалу і призначається для розплавлення під дією струму, який перевищує розрахункове значення. Вони виготовляються з олова, сплаву олова з цинком, з цинку, міді, срібла.

Олово, його сплави і цинк мають низьку температуру плавлення (200-420 °С).

Недоліком плавких вставок з цих матеріалів є їх теплова інерційність через відносно великий питомий опір та теплоємність металу.

Плавкі вставки з міді та срібла мають добру електропровідність, але плавляться при високій температурі (1080 і 960 °С). Тому, для зниження температури плавлення, на мідній фользі наплавляють кульки з олова чи цинку. В результаті так званого "металургійного ефекту" при нагріванні плавкої вставки олово чи цинк починає плавитися і поступово розчиняє мідь, від чого плавка вставка руйнується і перегоряє при температурі в 2-3 рази нижчій, ніж температура плавлення міді.

Срібні плавкі вставки дорогі і тому застосовуються лише на малі струми та високі напруги понад 1000 В.

Використовують такі види плавких запобіжників: пластинчасті, трубчасті відкриті та закриті, запобіжники з наповнювачем, гвинтовий (корковий), а також мітчики-запобіжники та вимикачі-запобіжники.

### **Електричні параметри плавких запобіжників**

$U_n$  – номінальна напруга (напруга мережі, при якій дозволяється застосовувати запобіжник) вказується на корпусі;

$I_{н.зан.}$  – номінальне значення струму запобіжника – струм, на який розраховані контакти запобіжника;

$I_{н.вст.}$  – номінальна величина струму плавкої вставки - найбільший струм, при якому вставка може працювати довго без спрацювання (вказується на вставці, якщо вона змінна, або на корпусі, якщо вона незмінна);

$I_{гр.}$  – гранична величина струму вставки - струм, при якому плавка вставка розплавиться через 2-3 години.

Співвідношення між цими параметрами такі:

$$I_{н.зан.} \geq I_{н.вст.}$$

$$1,25 \div 1,3 \leq \frac{2}{2} \leq 1,4 \div 1,6$$

Якщо струм, який протікає через вставку, більший у 3-4 рази від номінального, то все тепло, яке виділяється плавкою вставкою, йде на її нагрівання. Вставка розплавляється за час, який обернено пропорційний силі струму. Час нагрівання вставки до температури плавлення дорівнює:

$$t_{\text{гр}} = A' \frac{q^2}{I^2} = A' / \delta^2,$$

де  $A'$  – стала, яка визначається тільки властивостями матеріалу і від розмірів вставки не залежить;

$q$  – поперечний переріз вставки;

$I$  – струм;

$\delta$  – густина струму у вставці.

Плавкі запобіжники прості за конструкцією і дешеві, але вони потребують термінової заміни «згорілих» плавких вставок відразу ж після їх спрацювання, а нерозбірні – й самих запобіжників. Ця обставина унеможлиблює використання нестандартних, саморобних вставок, які є пожежонебезпечними.

#### **4.5.2. Автоматичні вимикачі**

Більш досконалими і надійними апаратами захисту багатократної дії є автоматичні вимикачі, які оснащені тепловим реле (рис. 4.6) чи тепловими елементами.

**Автоматичні вимикачі** забезпечують автоматичне включення електричних кіл в разі короткого замикання та перевантаження, а також не часту комутацію при нормальній роботі.



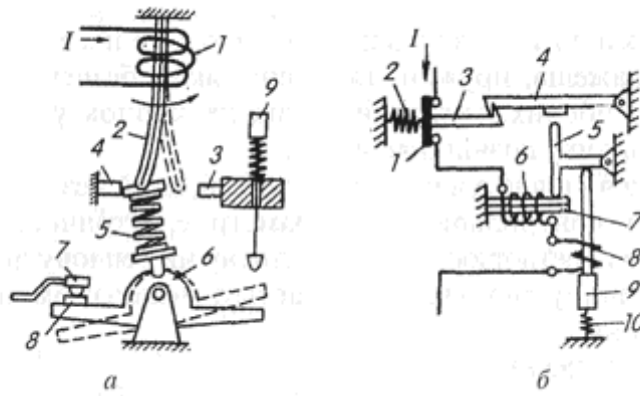


Рисунок 4.6 – Принципові схеми теплового реле (а) і автоматичного вимикача (б):

а) 1 – нагрівальний елемент; 2 – біметалева пластина; 3, 4 – обмежувачі руху; 5 – пружина; 6 – важіль; 7,8 – контакти робочого кола; 9 – кнопка повернення;

б) 1 – робочий контакт; 2, 10 – пружини; 3, 4 – защіпки; 5 – важіль; 6 – нагрівальний елемент; 7 – біметалева пластина теплового роз’єднувача; 8 – обмотка та 9 – якір електромагнітного роз’єднувача

Складові частини автоматичних вимикачів:

- **корпус** – це основа з покриттям (кожухом) з ізоляційного матеріалу. На основі кріпляться інші деталі автоматичного вимикача;
- **робочі контакти** – це комутаційний вузол апарата. Робочі контакти вмикають і розмикають електричне коло. В апаратах з великими струмами робочі контакти розміщені в дугогасильній камері, яка виглядає як комірка зі сталевими або мідними пластинами (гратками), що розташовані перпендикулярно до електричної дуги. Механізм дугогасіння полягає в зтягуванні дуги електродинамічними силами між пластини (гратки), в результаті чого вона роздрібнюється на декілька коротких частин, охолоджується металом і гасне;
- **механізм управління** – це привід, що забезпечує замикання та розмикання робочих контактів. Він може бути у вигляді кнопок «Пуск» та «Стоп» або важеля чи клавіші. За їх положенням видно, в якому стані знаходиться автоматичний вимикач;
- **механізм вільного розчеплення** – це система важелів, пружин, тяг тощо, які забезпечують розмикання робочих контактів як від дії кнопок управління, так і від впливу роз’єднувачів;

- *роз'єднувач* – це пристрій, який безпосередньо реагує на контрольований параметр режиму електричного кола. Цей вузол перетворює електромагнітну чи теплову дію струму в механічну дію, яка сприймається механізмом вільного розчеплення.

Види роз'єднувачів:

- *електромагнітний* – обмотка з якорем, який рухається під дією електромагнітних сил і впливає на механізм вільного розчеплення (М);
- *тепловий* – це сукупність спеціального електронагрівального елемента, який виділяє теплоту, та біметалевої пластини, яка перетворює теплову дію на механічний рух, що сприймається механізмом вільного розчеплення (Т);
- *комбінований (МТ)*. Автоматичні вимикачі з комбінованим роз'єднувачем забезпечують автоматичне вимикання електричних установок при короткому замиканні та струмових перевантаженнях і представляють собою сукупність теплового і електромагнітного роз'єднувачів.

Під час короткого замикання спрацьовує електромагнітний роз'єднувач, а при струмових перевантаженнях – тепловий. Автоматичний вимикач вимикає електроустановку в разі спрацювання будь-якого із роз'єднувачів.

При нормальній роботі рухомий контакт 1 перебуває в замкнутому стані в зачепленні із защіпкою 4 і утримується в цьому положенні пружиною 2. Сила пружини розрахована так, що робочий струм, який протікає по обмотці котушки електромагніту 8, не може її подолати.

При короткому замиканні в електромережі різко збільшуються струми, які утворюють потужне електромагнітне поле в котушці 8, під дією якого якір електромагніту 9 втягується в котушку і діє на важіль 5. Важіль, в свою чергу, діє на защіпку 4, яка, піднімаючись вгору, виходить із зачеплення із защіпкою 3. Остання, під дією пружини, відходить ліворуч, розриваючи коло живлення електроустановки і котушки електромагніту.

Після ліквідації причини короткого замикання рухомий контакт за допомогою

кнопки „Пуск” повертають в початкове положення і фіксують його зубом із заціпкою 4.

Тепловий роз’єднувач (рис. 6б) призначений для автоматичного відключення електричної установки при виникненні в ній струмових перевантажень.

При нормальній роботі контакти замкнуті і по електричному колу проходить струм, який живить електроустановки, а також електромагніти роз’єднувачів.

При струмовому перевантаженні в робочій лінії починається процес нагрівання нагрівального елемента. Завдяки теплу, що виділяється, біметалева пластина вигинається, діючи при цьому на важіль 5. Важіль діє на заціпку 4, а та виводить із зачеплення заціпку 3. Робочий контакт 1 під дією пружини 2 розмикає електричне коло. Для повернення автоматичного вимикача в робочий стан, після вистигання біметалевої пластини, необхідно натиснути на кнопку «Пуск».

Основною характеристикою теплового реле є залежність часу його спрацювання від кратності навантаження, тобто, відношення струму, який проходить через нагрівний елемент, до номінального струму теплового реле. Графічно вона представлена ампер-секундною або захисною характеристикою (рис. 4.7).

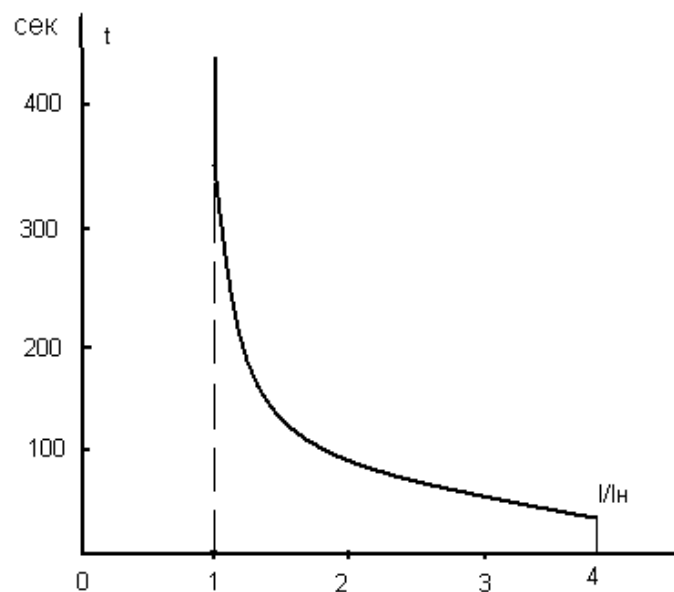


Рисунок 4.7 – Ампер-секундна характеристика теплового реле

Щоб визначити, чи може апарат захисту (теплове реле) запобігти пожежонебезпечним проявам в окремих елементах електроустановок (наприклад, в

електропроводці), необхідно порівняти теплову характеристику цього елемента із захисною характеристикою апарата захисту.

Теплову характеристику елемента електричної установки можна зобразити кривою, яка показує залежність проміжку часу, упродовж якого температура цього елемента досягне гранично допустимого значення, від кратності навантаження елемента установки, тобто:

$$t_{zp} = f\left(\frac{I}{I_n}\right)$$

Кратністю навантаження  $I/I_n$  називається відношення струму, який фактично проходить через установку, до номінального струму цього елемента.

Гранично допустима температура для електроізоляційних матеріалів електропроводки, після якої вони починають плавитися та руйнуватися, є різною. Наприклад, для гуми або поліхлорвінілу гранично допустима температура становить  $65\text{C}^0$ .

На рис. 4.8 зображено захисну характеристику теплового реле (крива 1) і теплову характеристику електропровідника (крива 2). Якщо крива 2 знаходиться вище кривої 1, як у нашому випадку, то вибране реле забезпечить захист електропроводки.

Для двигуна можна знайти залежність тривалості протікання струму від його величини, при якій забезпечується надійна та довговічна експлуатація обладнання. При номінальному струмі допустима тривалість його протікання дорівнює безконечності. Протікання струму, більшого за номінальний, призводить до додаткового підвищення температури та додаткового старіння ізоляції. Тому, чим більше перевантаження, тим на коротший час воно допустиме.

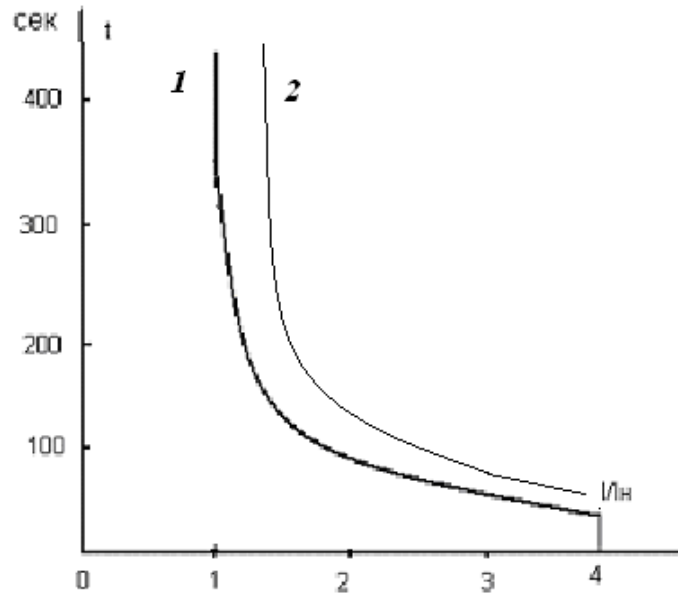


Рисунок 4.8 – Порівняльні характеристики теплового реле та електричного провідника

Залежність часу спрацювання теплового реле від струму навантаження має вигляд:

$$t_{\text{спр}} = T \ln \frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - I_\infty^2},$$

де  $T$  – стала часу нагрівання;

$I_0$  – струм попереднього навантаження;

$I_\infty$  – струм, при якому реле спрацьовує за час  $t \gg T$ ;

$I$  – струм, при якому реле спрацьовує за час  $t_{\text{спр}}$ .

При падінні напруги притягуюча сила електромагніту зменшується і пружина, долаючи цю силу, заставляє контактор розімкнутися і відімкнути електродвигун від електричного кола:

$$U_{\text{спр}} = (0,5 - 0,6) U_{\text{ном}};$$

До найважливіших електричних параметрів автоматичних вимикачів відносяться:

$U_n$  – номінальна напруга – напруга мережі, в якій дозволяється використовувати автомат;

$I_n$  – номінальна сила струму автомата – найбільш сила струму, на яку розраховані

всі струмонесучі елементи автомата;

$I_{н. ел.м.}$ ,  $I_{н. тепл.}$  – номінальна сила струму роз'єднувача (електромагнітного чи теплового) – найбільша сила струму, на яку розрахований роз'єднувач для тривалої роботи, яка не викликає спрацювання автомата;

$I_{спр. ел. м.}$ ,  $I_{спр. тепл.}$  – сила струму спрацювання роз'єднувача (електромагнітного чи теплового) – найменша сила струму спрацювання роз'єднувача;

$I_{вст. роз'єд.}$  – сила струму вставки роз'єднувача – сила струму, на яку відрегульований роз'єднувач (якщо автомат має таке регулювання).

*Запитання для самопідготовки*

1. Що таке «автомат», «напіваавтомат»?
2. Що таке «автоматика», «автоматизація»?
3. Що таке «виконавчі пристрої»?
4. Класифікація електричних апаратів.
5. Будова та принцип дії електричних апаратів різного призначення.
6. Що відносять до апаратів контролю, їх будова та призначення?
7. Види апаратів захисту. Будова та принцип роботи
8. Які параметри впливають на роботу електричних апаратів?

## 5. СПЕЦІАЛІЗОВАНІ БОРТОВІ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛІВ

### 5.1. Сучасна інформаційна система водія

Автомобільна інформаційно-діагностична система є складовою частиною сучасного автомобіля і призначена для збору, обробки, зберігання і відображення інформації про режим руху і технічний стан автомобіля, а також про навколишні зовнішні чинники.

Сьогодні система «водій — автомобіль — дорога — середовище» починає розглядатися як єдине ціле. Поліпшення руху на переобтяжених автомагістралях можливе, якщо водій матиме оперативну інформацію про стан дороги, транспортних потоках і про стан керованого автомобіля.

Уряди різних країн фінансують проекти, спрямовані на збільшення безпеки, ефективності, пропускну здатності, зменшення забруднення навколишнього середовища на великих автомагістралях. Іноді в зв'язку з цим говорять про концепцію інтелектуальної транспортної системи. У США і Японії такий проект називається ITS (intelligent transportation system), в Європі — Telematic.

Проекти включають створення інфраструктури і необхідної бортової електронної апаратури для оптимальної організації руху транспортних засобів єдиним потоком «бампер до бампера» (platoon), передачі водіям рекомендацій, попереджень і так далі. Для цього потрібні датчики для визначення інтенсивності транспортних потоків, комп'ютери для обробки великих масивів інформації і генерації повідомлень, засоби зв'язку, автомобільні дисплеї і багато що іншого.

У деяких проектах (Telematic) передбачається, що інформація, необхідна для функціонування ITS, поступатиме з самих автомобілів, необхідним чином оснащених телематичними системами.

Що дасть реалізація програми ITS в майбутньому, не зовсім ясно, але наявні технології дають змогу вже сьогодні реалізувати сучасну інформаційну систему водія.

На рис. 5.1 приведена блок-схема інформаційної системи водія; для конкретного автомобіля реалізація може бути іншою. У інформаційну систему входять декілька підсистем, включаючи навігаційну систему, дистанційне керування дверними замками, систему зв'язку «автомобіль — дорога», цифровий аудіо- і відеокomплекc, систему

передачі термінової інформації водієві по радіо. На бортовий комп'ютер поступають також сигнали від компаса, датчика швидкості обертання коліс, датчика положення керма і інших.

Сучасні інформаційні системи водія з їх широкими можливостями зараз все частіше називають телематичними (утворено від слів телекомунікації і інформатика). Телематичні системи — це пристрої обміну інформацією між системами автомобіля, водієм і навколишнім світом: бортовий комп'ютер, навігаційна система, засоби зв'язку і так далі.

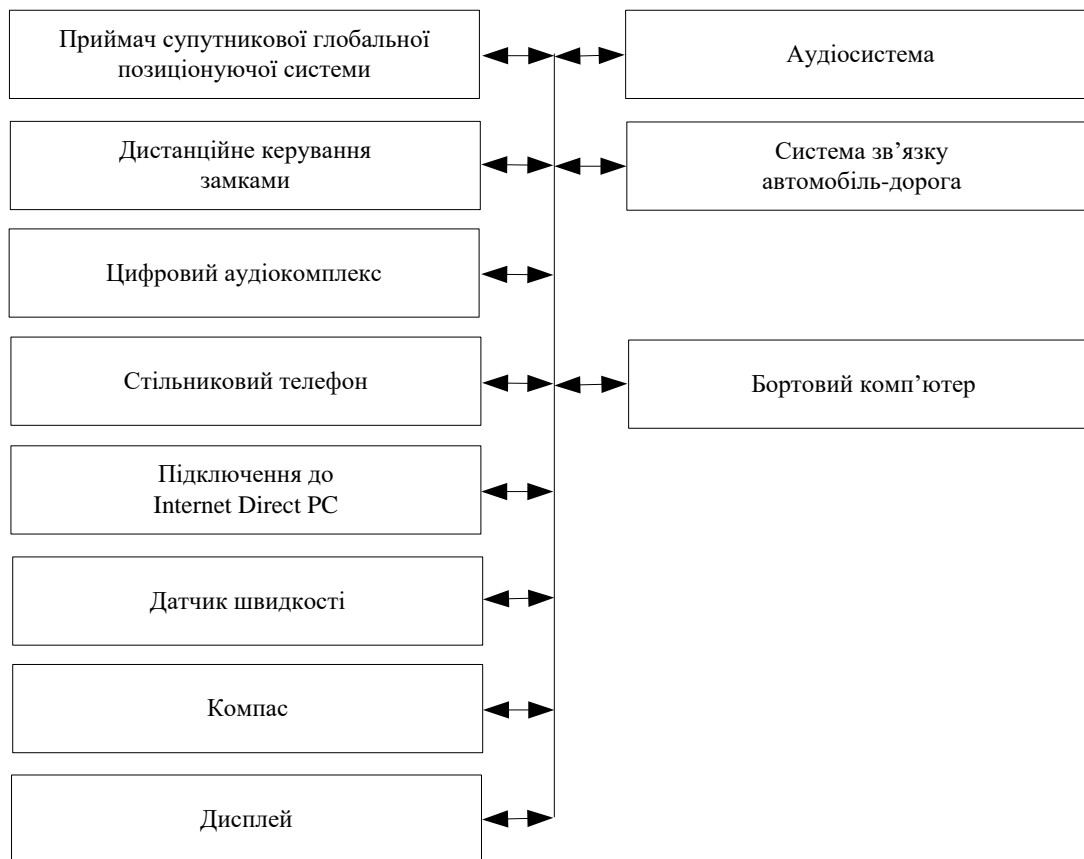


Рисунок 5.1 – Блок-схема інформаційної системи водія

Електронні блоки управління агрегатами автомобіля (двигун, гальма з ABS та ін.) видають інформацію системам телематики по шині даних. Очікується, що до 2020 року практично всі автомобілі матимуть мінімальний пакет телематики.

Система дистанційного керування дверними замками автомобіля широко використовується вже сьогодні. Портативний передавач, інфрачервоний або радіо, уміщається в руці («брелок»), посилає цифровий код приймальному пристрою на автомобілі. Якщо код правильний, спрацьовує виконавчий механізм і замок



відкривається. Якщо система пізнає дві кодові посилки як помилкові, дистанційне керування замками блокується, їх можна відкрити тепер тільки ключем, при цьому блокування скидається. Таке рішення виключає підбір кодів яким-небудь електронним пристроєм з метою угону.

Система зв'язку «автомобіль — дорога» забезпечує передачу повідомлень від дорожніх інформаційних служб автомобілю по радіо. Система є інфраструктурою з приймачів невеликої потужності на дорогах і засобів для генерації повідомлень. Локальний приймач має обмежений набір фіксованих повідомлень. Різні повідомлення може генерувати стаціонарний комп'ютер і передавати їх локально (наприклад, про пробки на даному маршруті). Приймачі інформаційної системи можуть також автоматично отримувати від автомобілів, що проходять повз, відомості за допомогою встановлених на них транспондерів.

Транспондер — це спеціальний автоматичний приймач, який встановлюється на рухомих об'єктах. У відповідь на кодове посилення транспондер передає необхідну інформацію про об'єкт, на якому він встановлений. В авіації транспондери використовуються для автоматичної передачі параметрів руху літака наземним службам.

У автомобілях транспондери використовуються для дистанційного стягування плати за проїзд по шосе, отримання інформації про завантаження вантажівок, що проходять і тому подібне. Є можливість дистанційно отримувати і передавати інформацію від бортової діагностичної системи сервісним підприємствам. У разі виявлення відхилень, водій попереджається відповідним текстом на дисплеї або прочитанням цього тексту комп'ютером.

Цифровий аудіо-відеокомплекс — CD-програвач, радіоприймач — має в основному розважальне призначення.

Система передачі повідомлень по радіо використовує додатковий канал в УКВ-діапазоні, що потребує спеціального приймача. По радіоканалу передається різна попереджувальна інформація (обвали, ожеледь). Є можливість передачі інформації, що корегує, для даної місцевості, дані супутникової глобальної позиціонуючої системи. Це дозволяє збільшити точність визначення координат автомобіля  $\pm 100$  метрів до  $\pm 5$  метрів.

Технології для організації такої інформаційної системи існують вже сьогодні. Потрібне створення необхідною і економічно виправданої інфраструктури, а також системи генерації повідомлень.

### ***5.1.1. Системи розпізнавання голосу і перетворення тексту в мову***

Під час руху автомобіля користуватися стільниковим телефоном або комп'ютером скрутно і небезпечно, оскільки це відволікає увагу водія від дороги, особливо при напруженому русі в межі міста.

Існує програмне забезпечення, що дає змогу розпізнавати мову людини. Водій говорить в мікрофон, а комп'ютер виконує нескладні команди. До недавнього часу подібні системи могли розпізнавати один-два голоси після спеціального навчання комп'ютера.

Сьогодні розробники пропонують все більше програм для розпізнавання голосу і читання тексту, наприклад, програма ViaVoice фірми IBM. Фірма модернізувала її до складних умов автомобільного салону (високий рівень шуму). Програма добре розуміє голоси різних людей. ViaVoice дає змогу водієві давати голосом команди багатьом автомобільним системам і отримувати відповідь у вигляді синтезованої мови. Допустимі, наприклад, такі команди: замкнути двері, включити CD-програвач, налаштувати певну радіостанцію, запитати напрям руху або дані про дороги від Web-сервера чи інших джерел, зачитати електронну пошту, що поступила, запитати спортивні або біржові новини і прочитати їх, зв'язатися по телефону з таким-то номером і так далі.

У концептуальному автомобілі Buick Bengal (General Motors) використовується програмне забезпечення фірми Visteon. Програма розпізнає 118 команд шістьма мовами, включаючи місцеві акценти, в умовах відкритого або закритого салону. Водій, не випускаючи з рук керма і не відриваючи очей від дороги, голосом може подати різні команди, починаючи від управління режимом CD-програвача або кондиціонера і кінчаючи зміною швидкості руху автомобіля. Технологія управління голосом дасть змогу відмовитися від багатьох кнопок та індикаторів на панелі приладів.

### ***5.1.2. Бортовий комп'ютер***

Бортовий комп'ютер (іноді званий маршрутним процесором) видає водієві різну, необхідну на маршруті інформацію, зокрема про стан автомобіля, управляє засобами зв'язку автомобіля із зовнішнім світом, навігаційною системою і так далі. Зазвичай

бортовий комп'ютер видає інформацію на цифровий дисплей, управляється з пульта управління на приладовому щитку автомобіля. На рис. 5.2 показаний пульт управління з рідкокристалічним дисплеєм для одного з типів бортових комп'ютерів. Починають застосовуватися і зручніші кольорові графічні сенсорні дисплеї з програмованими віртуальними органами управління (рис. 5.3).

Випускаються портативні комунікатори і органайзери, які можна підключати до шини даних автомобіля. Відповідне програмне забезпечення робить їх частиною автомобільної інформаційної системи.



Рисунок 5.2 – Пульт управління бортового комп'ютера з рідкокристалічним дисплеєм

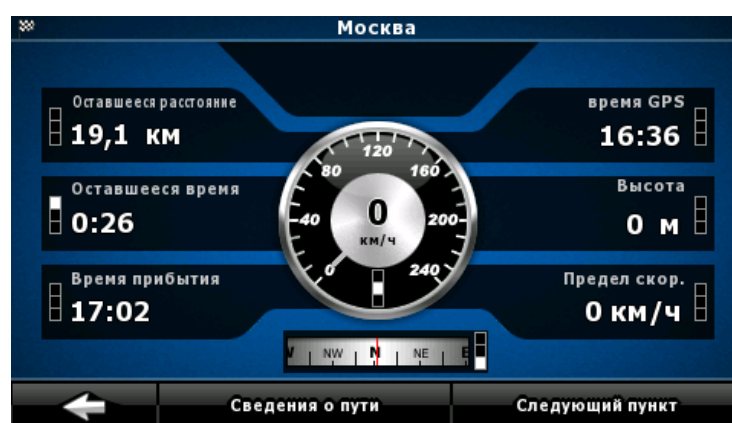


Рисунок 5.3 – Сенсорний дисплей. Виведено вікно навігаційної системи

Всі послуги зв'язку, що реалізуються в стаціонарному офісі, сьогодні доступні і для автомобілів: зв'язок факсиміле, автовідповідач, модем для комп'ютера і так далі

Комп'ютер в автомобілі може бути підключений до мережі Internet. Електронна пошта (e-mail) стає доступною для водія. При підключенні через супутникову антену

(direct PC) забезпечується висока швидкість передачі даних. Автомобіль перетворюється на офіс на колесах.

Бортовий комп'ютер визначає точний час і дату, витрату палива по сумі тривалості відкритого стану форсунок, швидкість і пройдену відстань.

На дисплей зазвичай виводиться така інформація:

- час, день тижня і дата;
- середня швидкість на маршруті;
- час в дорозі;
- середня витрата палива на маршруті;
- миттєва витрата палива;
- витрата палива на маршруті;
- відстань, яку можна пройти на запасі палива, що залишився.

Наприклад при виїзді на маршрут водій з клавіатури вводить відстань до пункту призначення, бортовий комп'ютер видаватиме інформацію про очікуваний час прибуття в пункт призначення і відстань, що залишилася до пункту призначення.

### ***5.1.3. Інформація про стан бортових систем автомобіля***

Бортовий комп'ютер автоматично здійснює контроль за станом систем автомобіля і видає отриману інформацію на рідкокристалічний дисплей, наприклад так, як показано на рис. 2. Інформація представляється в зручному графічному вигляді, за необхідності привернути увагу водія, видається звуковий сигнал або включається синтезатор мови.

Які саме контролюючі функції реалізує бортовий комп'ютер, залежить від моделі і виробника автомобіля, але, як мінімум, є такі можливості:

- індикація несправності сигналів гальмування;
- індикація несправності освітлювальних приладів;
- індикація про відкриті стани дверей або кришки багажника;
- індикація низької температури навколишнього повітря;
- індикація низького рівня охолоджуючої рідини в двигуні;
- індикація низького рівня мастила в картері;
- індикація низького рівня омиваючої рідини в бачку омивача скла;
- індикація надмірного зносу гальмівних накладок.

Контроль за станом електричних ланцюгів освітлювальних приладів здійснюється, наприклад, шляхом вимірювання електричного струму в проводах, підключених до відповідних ламп. Струм вимірюється зазвичай двома методами:

- у коло живлення лампи послідовно включається низькоомний резистор, сигнал з якого посилюється і подається на компаратор. При обриві ланцюга струм зникає, що приводить до низького рівня сигналу на виході компаратора і появи відповідної попереджувальної інформації на індикаторі або дисплеї;
- у колі живлення лампи послідовно включається обмотка геркона або іншого електромагнітного реле.

Температура навколишнього (забортного) повітря вимірюється термістором з негативним температурним коефіцієнтом. Він розміщується в закритих місцях, далеко від джерел тепла, зазвичай за переднім бампером. При зменшенні температури опір термістора збільшується і після проходження рівня  $+4^{\circ}\text{C}$  на дисплеї з'являється попередження про можливе заледеніння дороги.

Контроль за рівнем експлуатаційних рідин (мастила, гальмівної, охолоджуючої і омиваючої рідин) здійснюється за допомогою датчиків на основі геркона і плаваючого кільцевого магніта. Геркон поміщають в герметичний циліндр, по якому переміщається пластиковий поплавець з кільцевим постійним магнітом.

При нормальному рівні експлуатаційної рідини поплавець фіксується у верхньому положенні стопором, магніт замикає контакти геркона. При пониженні рівня рідини нижче критичного поплавець опускається, контакти геркона розмикаються, на дисплеї з'являється відповідне попередження.

Рівень мастила в двигуні комп'ютер вимірює за декілька секунд до пуску двигуна, оскільки рівень мастила в картері працюючого двигуна нижчий за контрольну мітку і коливається на поворотах і при гальмуванні, що може приводити до генерації помилкових повідомлень комп'ютером.

Стан електричних ланцюгів автомобіля постійно контролюється ЕБУ. Для того, щоб можна було розрізнити закритий і відкритий стан геркона від несправностей в ланцюзі датчика, в його ланцюг вводяться додаткові резистори.

Датчики зносу гальмівних накладок бувають двох типів: що розмикають і замикають контрольований ланцюг. У розмикаючому датчику дріт, закладений в

накладку на задану глибину, відповідну максимально допустимому зносу, при настанні останнього перетирається і розмикає контрольований ланцюг. Замикаючий датчик при настанні граничного зносу замикає контрольований ланцюг через гальмівний диск або барабан на масу. Недоліком замикаючого датчика є ненадійність контакту, який утворюється тільки у момент застосування гальм.

## 5.2. Бортові засоби відображення інформації

Основним завданням будь-якого індикатора є представлення інформації із заданою точністю і в зручному для водія вигляді. Більшість автомобільних індикаторів повинні оперативно видавати інформацію, вимоги до точності при цьому відносно невисокі. Аналогові індикатори представляють інформацію у формі, зручнішій для швидкого читання водієм. Наприклад, якщо стрілка покажчика температури охолоджуючої рідини знаходиться в районі середини шкали, водієві достатньо одного погляду на покажчик, щоб зрозуміти, що температура двигуна знаходиться в межах норми. Точність в даному випадку не важлива. Показник 98°C на цифровому покажчику температури не так просто усвідомити, потрібне ще встигнути зрозуміти, багато це чи мало.

Цей приклад наочно показує, чому на автомобілях, попри наявність контролерів і цифрової обробки інформації для управління різними системами, інформація водієві найчастіше представляється в аналоговій формі.

На рис. 5.4 показані аналоговий і цифровий індикатори однієї і тієї ж інформації (швидкості руху автомобіля).



Рисунок 5.4 – Аналоговий і цифровий індикатори

Цифрові і графічні індикатори (дисплеї) використовуються на автомобілі для вирішення, наприклад, таких завдань:

- видача картографічної інформації в навігаційних системах;
- дисплей бортового комп'ютера;
- годинник;
- дисплей магнітоли і так далі

Ці дисплеї можуть мати різну конструкцію. Для управління окремими сегментами і частинами дисплеїв застосовується мультиплексна система передачі інформації.

### 5.2.1. Стрілкові індикатори

Неелектричні параметри на борту автомобіля (швидкість, температура, тиск і т. д.) перетворюються відповідним датчиком в електричний сигнал. Цей сигнал фільтрується, піддається необхідним перетворенням і подається у вигляді електричного струму або напруги на аналоговий (стрілковий) індикатор.

Амперметр електромагнітної системи (рис. 5.5) складається з підстави 4, постійного магніта 3, латунної шини 1, якорі 5 і стрілки 2. При розімкнутому колі, якорь із стрілкою під дією магнітної поля постійного магніта утримується в середньому положенні по нульовому діленні. При проходженні струму через латунну шину створиться магнітне поле, під дією якого намагнічений якорь із стрілкою повертається в ту або іншу сторону залежно від напрямку струму і на кут у відповідності.

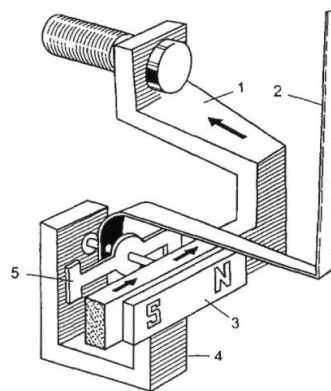


Рисунок 5.5 – Стрілочний індикатор з вимірюваним значенням параметра електромагнітної системи: 1- шина; 2- стрілка; 3 – магніт; 4 – підставка; 5 - якорь

### 5.2.2. Цифрові індикатори (дисплеї)

Цифрова система індикації працює багато в чому так само, як описана вище аналогова. Сигнали з датчиків поступають на ЕБУ панелі приладів в аналоговій або цифровій формі. У ЕБУ проводиться необхідна обробка отриманої інформації, потім вона передається на індикатори, як які можуть бути використані як: світлодіоди, рідкокристалічні дисплеї, електронно-променеві трубки.

### 5.2.3. Індикатори на світлодіодах

Діод, виконаний з фосфіду арсеніду галію (GaAsF), при протіканні через нього електричного струму створюється електромагнітне випромінювання в світловому діапазоні. Це так звані світлодіоди, що випромінюють зелене, жовте або червоне світло залежно від технологічного процесу при виробництві. Світлодіоди широко використовуються як індикатори в електронному устаткуванні і в цифрових дисплеях. Вони безвідмовно працюють тривалий час (більше 50000 годин) і споживають мало струму.

В даний час є тенденція заміни автомобільних світлодіодних індикаторів на рідкокристалічних, які підсвічують для полегшення читання.

Індикатор (дисплей) автомобіля зазвичай складається з групи світлодіодів (матриці), яка організована для видачі інформації в певній формі. Можуть використовуватися окремі світлодіоди, сегментні індикатори або складні шкали спідометрів (рис. 5.6).

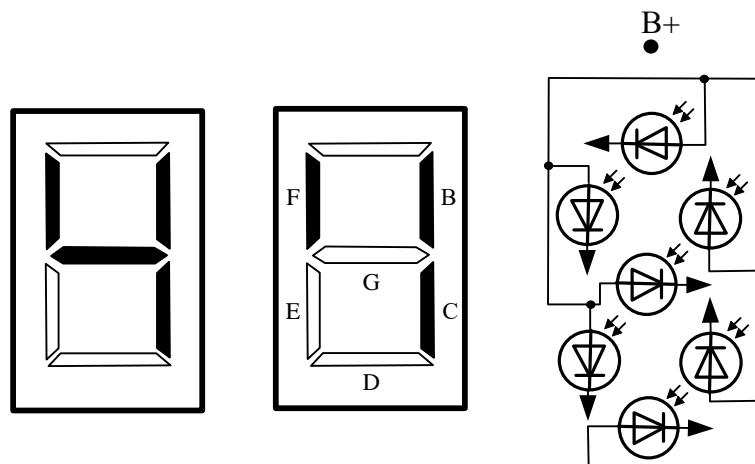


Рисунок 5.6 – Світлодіодні індикатори



#### 5.2.4. Рідкокристалічні дисплеї

Молекулярна структура рідких кристалів і їх оптичні властивості можуть бути змінені прикладанням механічного зусилля, електричного або магнітного поля, тиску, температури. Рідкі кристали розсіюють світло, що падає на них. Рідкі кристали застосовуються в індикаторах калькуляторів, годинниках, автомобільних дисплеях, дисплеях портативних комп'ютерів, телеекранах, мультимедіа проекторах і так далі

Розглянемо принцип дії індикатора на рідких кристалах (рис. 5.7). Хай кристал не збуджений, дисплей пропускає тільки поляризоване світло, яке, проходячи через перший поляризатор, потрапляє в кристал і повертається ним на кут  $90^\circ$ . На виході кристала встановлений другий поляризатор під кутом  $90^\circ$  до першого. Світло проходить через другий поляризатор, відбивається дзеркалом і повертається через другий поляризатор, кристал, на перший поляризатор. У незбудженому рідкому кристалі світло просто відбивається.

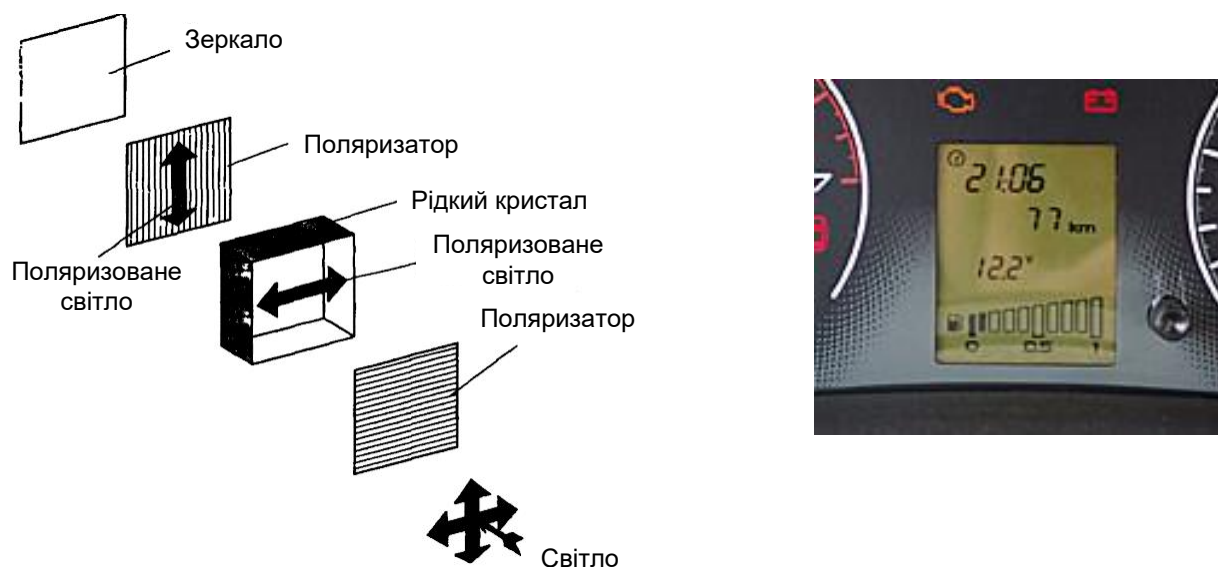


Рисунок 5.7 – Принцип роботи рідкого кристала та зовнішній вигляд РК дисплея

Якщо на рідкий кристал подана напруга близько 10 В з частотою 50 Гц, його молекули стають нерегульованими і світло, проходячи через рідкий кристал, не буде повертатися на  $90^\circ$ . Це означає, що світло, пройшовши перший поляризатор, не пройде другий і не відіб'ється. На дисплеї при цьому буде видно темний сегмент. Розміри

сегментів визначаються призначенням дисплея, наприклад, для дисплея комп'ютера або телеекрана сегмент набуває форми і розміру пікселя.

Рідкокристалічні дисплеї споживають невелику потужність, але потребують зовнішніх джерел освітлення. Іноді замість дзеркала в рідкокристалічних дисплеях використовується фонове джерело світла.

### 5.2.5. Вакуумні флуоресцентні індикатори

Схематично пристрій таких індикаторів показаний на рис. 5.8. Катод нагрівається до температури декількох сотень градусів і випромінює електрони, потік яких до анода управляється сіткою. Анод утворений сегментами, які покриті флуоресцентним матеріалом і на які подаються управляючі електричні сигнали. При подачі сигналу на сегмент він починає світитися.

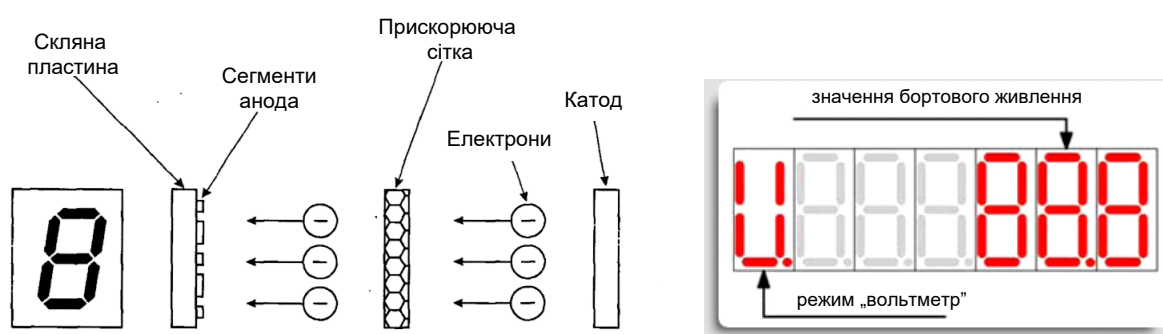


Рисунок 5.8 – Вакуумний флуоресцентний індикатор, зразок показчика

Вся конструкція зібрана в скляній колбі, з якої відкачано повітря для створення вакууму. Потенціометром в ланцюзі сітки міняють яскравість свічення індикатора. Індикатор, залежно від вживаної флуоресцентної речовини, світиться жовто-зеленим або синьо-зеленим світлом

Перевагою вакуумних флуоресцентних індикаторів є висока яскравість свічення, недоліком – крихкість скляної колби.

### 5.2.6. Електронно-променеві трубки

Ці дисплеї так і не знайшли широкого застосування на автомобілях. Їх основні недоліки:

- незручність монтажу та приладової панелі через довгу катодну трубку;
- потрібний час для розігрівання;

- зображення втрачає яскравість при освітленні сонячним світлом і так далі

На деяких моделях автомобілів (наприклад, Buick Riviera, 1986 р.) електронно-променевої трубки все-таки встановлювали. Сьогодні там, де потрібна видача графічної інформації, наприклад в навігаційних системах, застосовуються кольорові рідкокристалічні дисплеї.

### **5.3. Приладові панелі**

Водій отримує інформацію про режим руху і технічний стан автомобіля за допомогою контрольно-вимірювальних приладів і індикаторів, розміщених на панелі приладів.

Панель приладів сучасного легкового автомобіля містить 3–6 стрілочних приладів і 5—7 світлових індикаторів, розміщення яких ґрунтується на таких принципах:

- в центрі панелі групуються засоби відображення інформації, пов'язані із забезпеченням безпеки дорожнього руху;
- розміщення приладів і індикаторів тим ближче до центру панелі, чим вища частота звернення до них водія;
- угруповання в єдині блоки функціонально зв'язаних приладів і індикаторів.

Розвиток і впровадження автомобільної електроніки дав можливість конструкторам і дизайнерам створити електронну панель приладів, в якій замість звичних електромеханічних приладів встановлюються електронні інформаційні пристрої і індикатори. Електронні індикатори, окрім функцій, що виконуються електромеханічними приладами, здатні надавати водієві інформацію в цифровій, графічній і текстовій формах. За допомогою електронних пристроїв можливі синтез людської мови, індикація показників, для визначення яких потрібні складні обчислення, аналіз доцільності передачі інформації водієві.

Електромеханічні прилади, як правило, призначені для відображення тільки одного параметра, оскільки при використанні декількох шкал погіршується можливість зчитування свідчень. Крім того, вони мають значні габаритні розміри, що робить складним їх розміщення на панелі приладів.

Електронні індикатори при менших розмірах можуть інформувати про значення не одного, а декількох параметрів, передавати різноманітні повідомлення і тому дають змогу різко збільшити інформативність приладової панелі при тих же габаритах.

Необхідно також відзначити, що електронні інформаційні пристрої надають водієві достовірніші дані. Це пов'язано як з підвищенням точності приладів, так і з цифровим представленням інформації.

Проблема оптимальної компоновки приладів на панелі в автомобілі постійно вивчається. Важливим моментом тут є час, що витрачається водієм на те, щоб відвести погляд від дороги, знайти на панелі потрібний прилад і отримати від нього інформацію. На рис. 5.9 показана типова панель приладів сучасного автомобіля. Вона компактна, все знаходиться у полі зору водія. Якість дизайну приладової панелі враховується споживачем при покупці автомобіля.



Рисунок 5.9 – Приладова панель сучасного автомобіля

Слід зазначити, що інформація з цифрових дисплеїв погано засвоюється водіями.

З'явилися і все частіше використовуються електронні аналогові дисплеї, але вони збільшують ціну автомобіля на 200...400 доларів.

На рис. 5.10 показана типова блок-схема сучасної цифрової автомобільної системи відображення інформації. Обробка сигналу і логічні функції покладені на ЕБУ. Стандартні датчики підключені до ЕБУ, який управляє необхідними пристроями відображення інформації і дисплеєм. ЕБУ допускає конфігурацію системи під конкретну модель автомобіля.

Розглянемо деякі з виконуваних функцій.

1. Коли опір резистивного датчика рівня палива в баку набуде певного значення, зажевіє індикатор низького рівня палива.
2. При заданому значенні опору термістора зажевіє індикатор перегріву двигуна

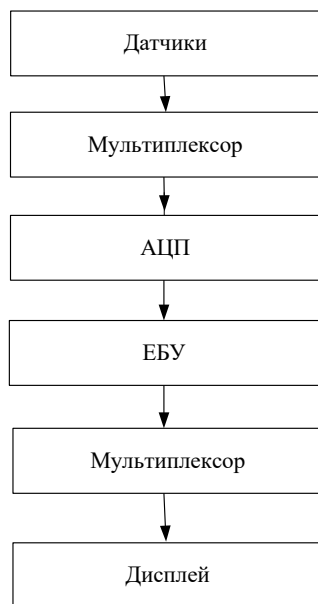


Рисунок 5.10 – Блок-схема цифрової системи відображення інформації

3. Зазвичай немає необхідності інформувати водія про кожен градус зміни температури в системах автомобіля, постійні флуктуації в показах приладів уповільнюють засвоєння інформації. ЕБУ розбиває діапазон зміни вхідного сигналу термодатчика на 4–6 піддіапазонів. Наприклад, якщо опір термістора змінюється в межах 240...200 Ом, ЕБУ видає на дисплей одне стабільне значення температури (нормативне), якщо опір термістора вийшов з цього діапазону, ЕБУ виводить на відліковий пристрій наступне значення температури з відповідного піддіапазону зміни опорів.

4. Попереджувальні індикатори (такі як індикатор тиску масла) робляться миготливими щоб привернути увагу водія.

5. Попереджувальні індикатори про необхідність техобслуговування і техогляду (особливо це характерно для автомобілів BMW). Індикатори спалахують після певного пробігу або через певний час, який скорочується, якщо двигун працював на високих оборотах і з перегрівом.

6. Індикатор нештатної роботи генератора. ЕБУ виявляє невідповідність рівня напруги, що відбувається в результаті ковзання приводного паса. Проковзування визначається шляхом порівняння частот сигналу запалення і напруги з однією з фаз генератора.

Як приклад розглянемо роботу системи під час вступу сигналів про високу температуру охолоджуючої рідини і низький рівень палива в бензобаку. На рис. 5.11 показана блок-схема системи для цього випадку. АЦП підключається через мультиплексний комутатор по черзі до датчиків температури і рівня палива. Сигнал піддається аналого-цифровому перетворенню і поступає в ЕБУ. Допустимо, ці сигнали мають значення 180 Ом (температура охолоджувача близько 105°C) і 200 Ом (залишилося 10 літрів палива в баку). Ці значення привласнюються відповідним змінним «temp\_input» і «fuelInput» і порівнюються з константами «tempHigh» і «fuelLow», які зберігаються в пам'яті ЕБУ.

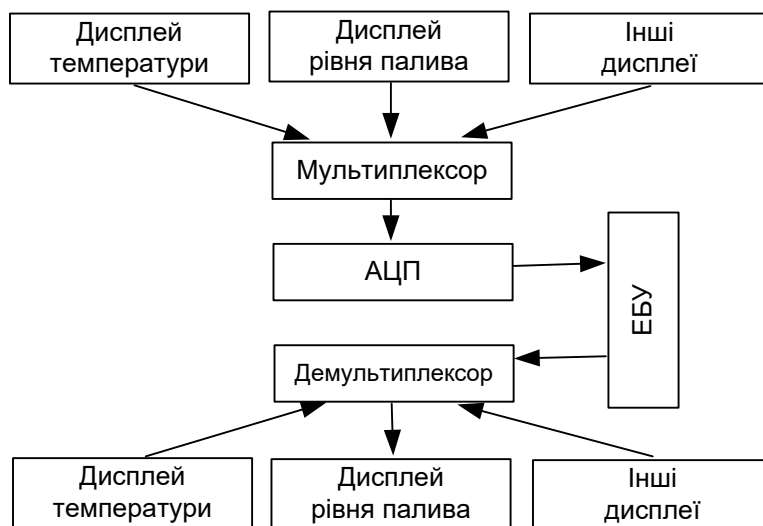


Рисунок 5.11– Блок-схема цифрової системи відображення інформації для випадку високої температури охолоджуючої рідини і низького рівня палива в бензобаку

Порівняння реалізується за таким спрощеним алгоритмом:

IF temp\_input tempHigh THEN temp\_high\_lamp = ON

IF fuel\_input fuel\_low THEN fuel\_low\_lamp = ON

При виконанні умови спалахує відповідний індикатор.

## 5.4. Відображення інформації на лобовому склі

При користуванні автомобільними приладами і дисплеями завжди існує така проблема: з одного боку, водій винен якомога рідше відводити погляд від дороги в цілях безпеки, з іншого — якщо на прилади взагалі не дивитися, можна пропустити попереджувальну інформацію, наприклад, про низький тиск мастила і т.ін. Є способи вирішення цієї проблеми, такі як подавання звукових сигналів, розміщення приладів завжди в полі зору, але найбільш досконалим методом на сьогодні вважається відображення інформації на лобовому склі (head up display або HUD). Спочатку ця технологія була використана в авіації, коли конструктори зіштовхнулись із необхідністю розміщення до 100 попереджувальних індикаторів в кабіні винищувача на лобовому склі. Принцип відображення інформації на лобовому склі проілюстрований на рис. 5.12.

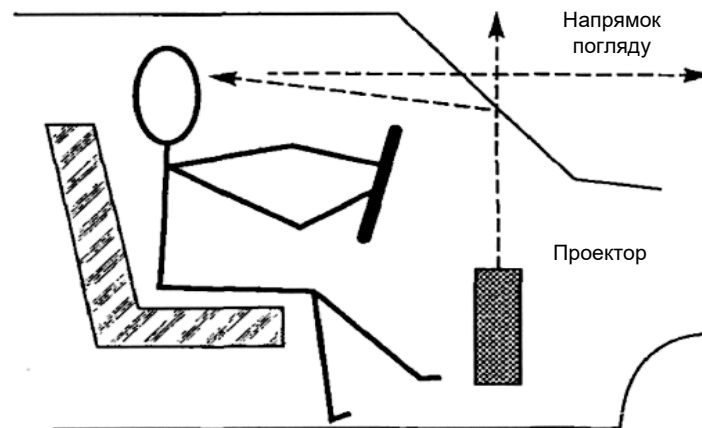


Рисунок 5.12 – Відображення інформації

Зображення з проектора (електронно-променева трубка, рідкокристалічна матриця) проектується на вітрове скло, що є після спеціальної обробки напівпрозорим дзеркалом. Водій бачить дорогу через це «скло-дзеркало» при включеному або вимкненому проекторі. Яскравість проектованого зображення автоматично підлаштовується під зовнішнє освітлення.

На рис. 5.13 показана система HUD в роботі. На жаль, потрібна індивідуальна підбірка передніх стекол, інакше виникає двоїння і зображення на вітровому склі виходить нечітким. На деяких серійних автомобілях HUD застосовується з 1988 року.

Яку саме інформацію і коли виводити на лобове скло, вирішує бортовий комп'ютер залежно від ситуації. Наприклад, спідометр має сенс проектувати постійно, а індикатор низького тиску палива, тільки якщо ця подія відбудеться.

Сучасні системи HUD виводять інформацію прямо перед водієм. Як дисплеї попереджувальної інформації можна також використовувати рідкокристалічні дзеркала заднього вигляду, що автоматично змінюють коефіцієнт віддзеркалення при освітленні їх в темний час фарами автомобіля, що йде позаду.



Рисунок 5.13 – Вигляд через вітрове скло автомобіля з HUD

General Motors випустила систему, що полегшує водієві орієнтування на місцевості на основі HUD і синтезатора мови. Синтезатор голосом видає підказку типу «повернути ліворуч на наступному перехресті», а на вітровому склі схематично представляється ця частина шляху із вказівною стрілкою. Система може також видавати попередження типу «до повороту 0,3 милі» або «попереду дорожні роботи», вона не відрізняється від аналогічних розробок інших фірм, але застосування HUD робить її зручнішою.

Розробляються методи, що дають змогу визначати, куди саме спрямований погляд водія в кожен момент часу, і проектувати необхідну інформацію за допомогою HUD саме в цю точку на вітровому склі. Метод припускає використання портативної відеокамери і лазера. Промінь лазера відбивається від рогівки ока водія, що дає змогу точно визначити, куди саме дивиться водій. Ймовірно, детектор руху погляду водія буде використаний для визначення самопочуття водія, чи не дрімає він. При виявленні відхилень буде поданий сигнал тривоги, звукової або світлової.



## 5.5. Перспективні засоби відображення інформації

При комп'ютеризації всіх автомобільних систем, що продовжується, все більше функцій стають доступними. Вже сьогодні є можливість регулювати потік інформації водієві, тобто на один і той же дисплей виводити різні дані, необхідні водієві саме в цей час. Яка саме інформація в даній ситуації потрібна водієві, визначає програмне забезпечення комп'ютера, але водій може викликати потрібні йому блоки даних на дисплей і самостійно. Наприклад, якщо температура охолоджуючої рідини знаходиться в нормі, немає необхідності виводити дані на дисплей, якщо тільки водій сам не захоче цього зробити. Якщо на дисплей виведена відстань, яку може пройти автомобіль з наявним запасом палива, нема потреби показувати кількість палива в баку і так далі.

Комп'ютер може за необхідності перервати нормальний процес виведення інформації і згенерувати на дисплей застережливе повідомлення типу: «палива залишилося тільки на 50 км пробігу» або «впав тиск у лівій задній шині».

Застосування програм синтезаторів мови дає змогу робити такі повідомлення голосом, причому водій при конфігурації системи може встановити бажані параметри голосу: чоловічий або жіночий, високий або низький і так далі. Для залучення уваги водія використовуються і простіші звукові сигнали.

Голографічне зображення є тривимірним представленням реального об'єкта, при цьому використовуються лазерні випромінювачі — проектори і відповідний екран.

В даний час проводяться дослідження і розробка апаратури з метою підвищення безпеки руху в темний час доби. Один з варіантів такий: інформація знімається з інфрачервоних відеокамер, обробляється, голографічне зображення проектується на лобове скло перед водієм. Завдяки використанню цього своєрідного приладу нічного бачення управління автомобілем в темний час доби спрощується.

Але, як виявилось, електроніка в автомобілі не тільки допомагає, але і заважає. Дослідження, проведені в групі водіїв вікової категорії старше 60 років, показали, що користування електронною картою сильно відволікає водія від дороги. Реакція немолодого водія, який під час руху вимушений відволікатися на телематику, знижується на 30... 100 відсотків в порівнянні з його 18—30-річними колегами.

## **5.6. Навігаційні системи автомобіля**

Перші навігаційні системи застосовувалися лише для індикації розрахункового часу прибуття в пункт призначення та відстані до нього і використовували датчики азимуту і швидкості обертання коліс. Пізніше почали використовувати бази даних з картографічною інформацією, з'явилася можливість визначати поточні координати автомобіля на карті місцевості, для чого відомо декілька методів.

Механічні прототипи навігаційних систем з'явилися у США в 1910 році, коли автомобілі почали виробляти у великих кількостях, а дороги ще не були розмічені. Наприклад, в навігаційній системі Chadwick Road Guide металевий диск з отворами обертався синхронно з пройденим шляхом. Отвори відзначали перехрестя на маршруті. До доріжок на диску пружинами притискалися спеціальні молоточки. При попаданні молоточка в отвір пристрій видавав дзвінок, і спеціальний важіль з кодованим символом указував водієві, яку необхідно виконати дію.

Точність і надійність таких навігаційних систем були низькими, їх перестали використовувати після стандартизації дорожніх знаків в 20-х роках і запровадження розмітки доріг.

У 60-х роках автомобільні компанії знову почали виявляти цікавість до навігаційних систем. У 1987 році Toyota почала їх встановлювати на серійні моделі як опцію. У 1994 році в США, Європі, Японії вже було продано більше 500000 автомобільних навігаційних систем.

### ***5.6.1. Функції, структура і складені компоненти навігаційної системи***

На рис. 5.14 показано структуру навігаційної системи. Система може здійснювати навігаційне числення, визначати положення автомобіля на карті місцевості по конфігурації пройденого шляху, визначати абсолютні координати за допомогою супутникової системи GPS (Global Positioning System глобальна позиціонуєча система). За допомогою навігаційного числення визначають відносне положення автомобіля і напрям руху за інформацією, отриманою з датчиків швидкості обертання коліс і азимута.

Конфігурація ділянки пройденого шляху, отримана за допомогою навігаційного числення, порівнюється з конфігурацією доріг, нанесених на карту. Визначивши

дорогу, по якій рухається автомобіль, система знаходить і його поточні координати. Точніше визначення координат автомобіля на карті проводиться за допомогою GPS по широті і довготі. Вважається, що для практичних цілей достатньо знати координати автомобіля з точністю до розміру половини кварталу, тобто  $\pm 100$  метрів.

Автомобільна навігаційна система повинна мати в своєму складі датчики пройденого шляху і напрямку руху.

Датчик пройденого шляху — це та або інша конструкція електронного одометра, інформація в який поступає з датчиків швидкості обертання коліс ABS.

Одометрам властивий ряд систематичних похибок, які необхідно коректувати. До них відкошуватимуть:

1. Різниця в діаметрах нової і зношеної покритки дає погрішність у визначенні пройденої дистанції до 3%.
2. Через збільшення діаметру покритки від відцентрової сили на кожних 40 км/год швидкості автомобіля погрішність у визначенні пройденої дистанції збільшується на 0,1...0,7%.

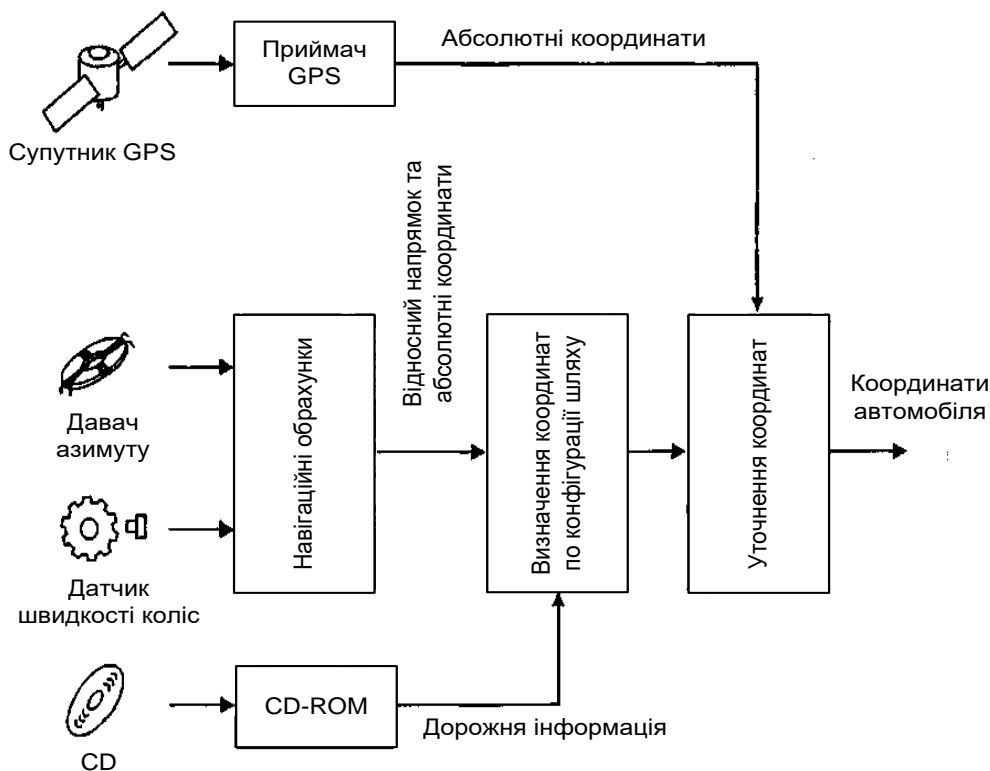


Рисунок 5.14 – Структура навігаційної системи

3. Зміна тиску в шинах на 689 кПа (10 psi) збільшує похибку на 0,25...1,1%.

Для визначення напрямку руху автомобіля зазвичай використовують датчик азимута, датчики швидкості обертання коліс, гіроскопи.

### 5.6.2. Датчик азимута (компас)

Датчик азимута використовує магнітне поле Землі і є кільцеве осердя з феромагнетику, на який намотані обмотка збудження і перпендикулярно одна одній дві вихідні обмотки (рис. 5.15).

До обмотки збудження прикладена синусоїдальна напруга. За відсутності зовнішнього магнітного поля у вихідних обмотках наводиться ЕРС взаємоіндукції, також синусоїдальна, з нульовим середнім значенням. За наявності постійного зовнішнього магнітного поля (магнітне поле Землі) відбувається спотворення синусоїдальної форми магнітного потоку в осерді через накладення постійної складової і напруги вихідних обмоток (рис. 5.16).

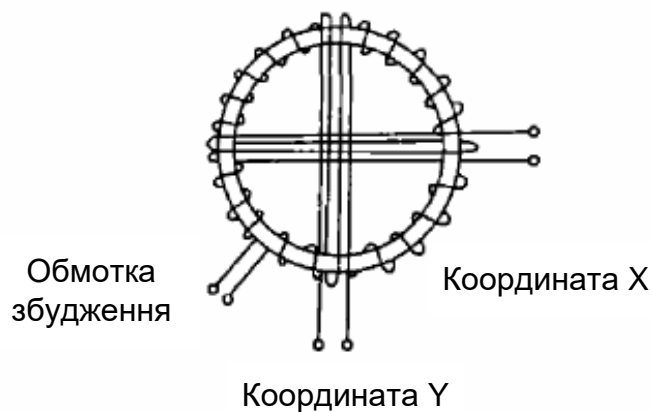


Рисунок 5.15 – Геомагнітний датчик азимуту

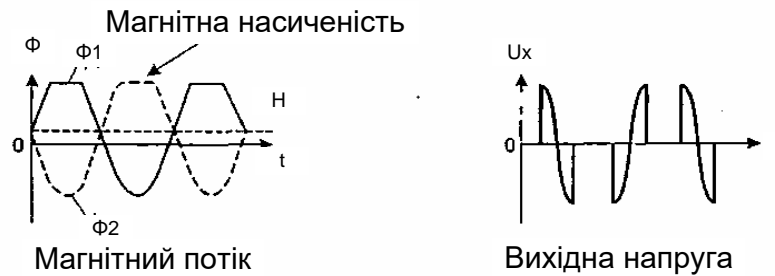


Рисунок 5.16 – Електромагнітні процеси в геомагнітному датчику азимута в присутності зовнішнього магнітного поля

Якщо зовнішнє магнітне поле спрямоване під кутом  $\theta$  до обмотки  $X$ , то середні значення напруги у вихідних обмотках визначаються так:

$$V_X = kH \cos \theta$$

$$V_Y = kH \sin \theta$$

де  $k$  — коефіцієнт пропорційності. Звідси  $\theta = \arctg(K_Y/K_X)$ , так званий напрям руху автомобіля визначений.

Сучасні датчики азимута випускаються в інтегральному виконанні.

### 5.6.3. Датчик швидкості обертання коліс

Для визначення напрямку руху використовуються датчики швидкості обертання передніх коліс, які використовуються і для ABS. Кут повороту автомобіля (рис. 5.17) визначається за різницею шляхів, які проходять при повороті ліве і праве колесо. Коли автомобіль повертається на кут  $\theta$  з радіусом повороту  $R$ , його колеса описують дуги.

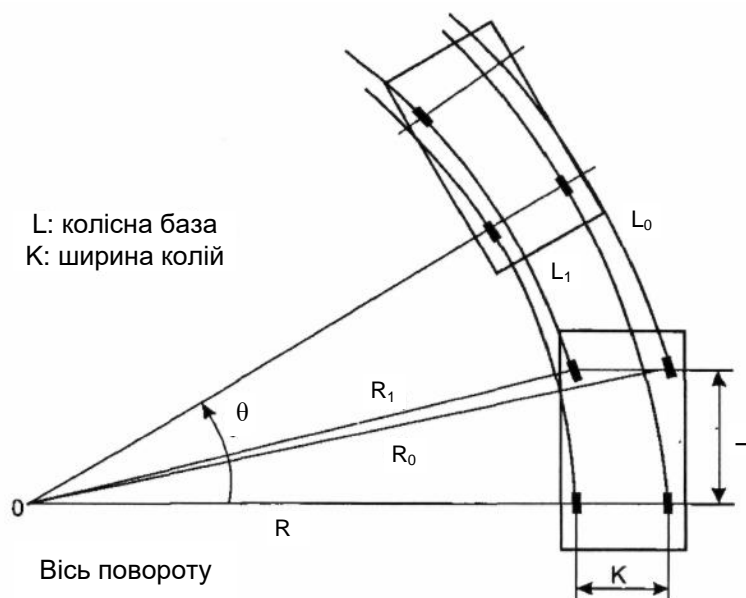


Рисунок 5.17 – Шляхи, пройдені лівим і правим колесами

Довжина шляху, пройденого правим і лівим колесом при повороті передніми колесами, різні і складають:  $L_1 = R_1\theta$  і  $L_0 = R_0\theta$ . Радіуси цих дуг мають загальний центр і визначаються як:

$$R_1 = \sqrt{R^2 + L^2}, \quad R_0 = \sqrt{(R + K)^2 + L^2}$$

де  $L$  — колісна база, а  $K$  - ширина колії.

Введемо  $P$  — відношення між довжинами шляхів коліс на повороті:

$$R_0 = \frac{L_0}{L_1} = \frac{\sqrt{(R + K)^2 + L^2}}{\sqrt{R^2 + L^2}}$$

Перетворимо це рівняння:

Колісна база  $L$  і ширина колії  $K$  відомі для конкретного автомобіля.

$$R = \frac{K + \sqrt{K^2 - (P^2 + 1)[(P^2 - 1)L^2 - K^2]}}{P^2 - 1}$$

Шляхи правого і лівого коліс заміряють за допомогою датчиків швидкості обертання коліс. Тоді кут повороту  $\theta$  обчислюється за формулою:  $\theta = L_1/R_1 = L_1/\sqrt{L^2 + R^2}$ . Склавши всі поворотні кути, можна визначити і кут повороту автомобіля для заданої шляхи від стартової крапки:

$$\theta_n = \sum_{i=1}^n \theta_i$$

#### 5.6.4. Гіроскоп

Гіроскопом визначається кутова швидкість автомобіля на повороті і інтегрується для визначення кута повороту. У навігаційних системах використовуються різні типи гіроскопів, тут розглядається застосування газового гіроскопа.

Пристрій працює таким чином. Насос створює потік гелію із заданою швидкістю і спрямовує його через сопло на два нагріті провідники датчика. Кутова швидкість автомобіля визначається по зміні опорів провідників датчика. Коли потік гелію виходить з сопла насоса, він поступово розширюється. Розподіл швидкостей потоків газу біля провідників показано на рис. 5.18.

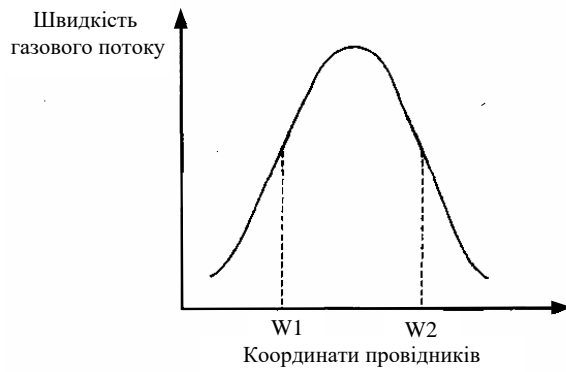


Рисунок 5.18 – Розподіл швидкостей у потоці газу

Коли автомобіль рухається прямо, розподіл швидкостей симетричний щодо провідників, вони охолоджуються однаково і на виході мостової схеми, частиною якої є провідники, нульова напруга.

При повороті виникає сила Коріоліса, що зміщує газовий потік, провідники охолоджуються нерівномірно, їх опору електричному струму різні, на виході мостової схеми з'являється напруга, пропорційна кутовій швидкості автомобіля на повороті (рис. 5.19).

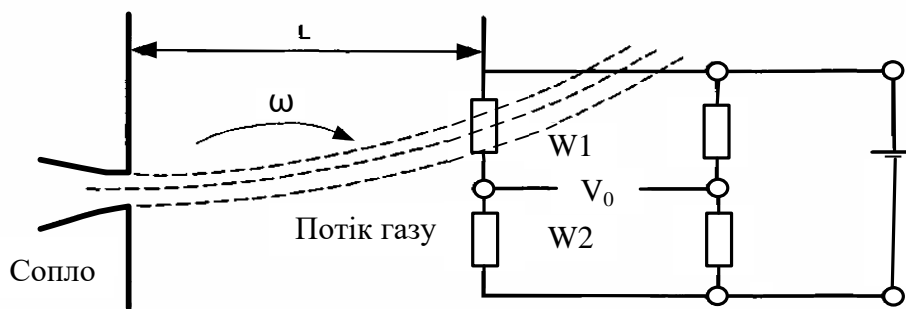


Рисунок 5.19 – Принцип роботи гіроскопу

### 5.7. Навігаційне числення

Навігаційне числення — це метод визначення координат рухомого об'єкта (автомобіля, літака, судна і т. д.) відносно стартової точки. Використовується сума

векторів пройдених відстаней, інформація про напрями надходить з датчика азимута або датчика швидкості обертання коліс. На рис. 5.20 показано застосування навігаційного числення до визначення координат об'єкта (автомобіля).

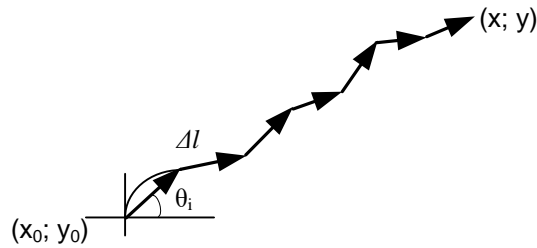


Рисунок 5.20 – Визначення координат автомобіля методом навігаційного числення

Відстань від стартової точки  $(X_0, Y_0)$  визначається за такою системою рівнянь:

$$X = X_0 + X_d/\sin\theta, \quad Y = Y_0 + Y_d/\sin\theta$$

де вісь  $X$  позначає напрям «схід — захав», а  $Y$  — «північ — південь».

Таким чином, поточні координати автомобіля можуть бути визначені, якщо відоме положення стартової точки на карті.

Напрямок руху автомобіля зазвичай визначається по геомагнітному датчику азимута (компаса). Корпус автомобіля виконаний з металу і інших магнітних матеріалів і здатний намагнічуватися зовнішніми полями (наприклад, в магнітному полі, що створюється електродвигунами електровоза на залізничному переїзді і т. д.). В цьому випадку виникає систематична похибка у визначенні напрямку руху автомобіля. Паразитне магнітне поле компенсується додатковими магнітами поблизу компаса.

Магнітне поле також спотворюється в тунелях, на металевих мостах, при русі уздовж автопоїздів. Застосування датчиків швидкості обертання коліс разом з компасом часто вирішує цю проблему. Датчики швидкості обертання коліс не чутливі до таких спотворень, на практиці датчики азимута і швидкості обертання коліс доповнюють один одного при визначенні напрямку руху автомобіля.

Навігаційне числення дає низьку точність визначення поточних координат об'єкта. Для автомобіля доводиться коректувати координати, визначені методом навігаційного числення кожні 10... 15 км. На щастя, автомобілі зазвичай пересуваються дорогами, нанесеними на карту.



## 5.8. Електронні карти

У деяких навігаційних системах картографічна інформація зберігається централізовано і передається па автомобіль по радіоканалу, але в більшості випадків навігаційна система припускає наявність необхідної бази даних на борту автомобіля.

CD-ROM використовується для зберігання картографічної і дорожньої інформації з метою порівняння конфігурацій дорогий і пройденого шляху, пошуку оптимального маршруту, виведення карти місцевості на дисплей. Значна ємкість CD (до 600 Мб) дає змогу це робити.

Картографічна інформація або електронні карти існують в двох основних форматах: матричному і векторному.

У матричному форматі кожному елементу карти (пікселя) відповідають свої значення декартових координат  $X$ — $Y$ . Матричні карти потребують багато місця в пам'яті комп'ютера або на носіїв інформації і незручні для математичних операцій при прокладці і стеженні за маршрутом.

У векторному форматі дороги, вулиці представляються послідовностями відрізків прямих, описаних аналітично, перетини — вузлами (рис. 5.21). Вузли ідентифікують координатами — довготою і широтою. Якщо дорога (вулиця) не пряма, в точці зламу також поміщається вузол. Таким чином, дороги (вулиці) будь-якої конфігурації апроксимуються набором векторів і вузлів.

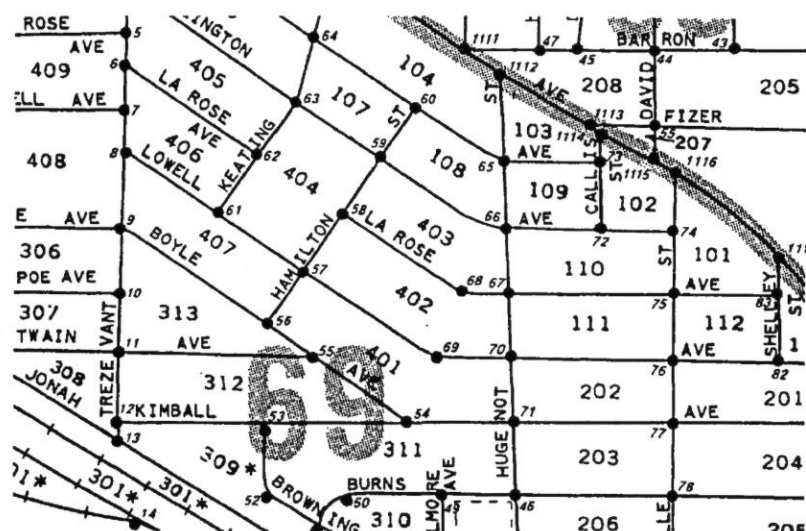


Рисунок 5.21 – Вулиці і вузли на векторній карті

Наявні карти або зображення місцевості, отримані з літаків і супутників, скануються. Потім спеціальне програмне забезпечення трансформує зображення спочатку в матричний, а потім у векторний формат.

Електронна карта містить таку інформацію, як номери доріг, назви вулиць, номери будинків між перехрестями, односторонній або двосторонній рух на вулиці, назви готелів, ресторанів і так далі.

### 5.8.1. Орієнтування на карті місцевості по конфігурації пройденого шляху

Цей метод дає змогу визначити або уточнити поточні координати автомобіля порівнянням конфігурації пройденого шляху (його ділянки), отриманого навігаційним численням з конфігурацією дороги, по якій рухається автомобіль. На рис. 5.22 показано, як порівнюються і коректуються шляхи, отримані навігаційним численням з картою.

Спочатку навігаційна система певним навігаційним численням визначає, які з довколишніх доріг можуть відповідати координатам автомобіля.

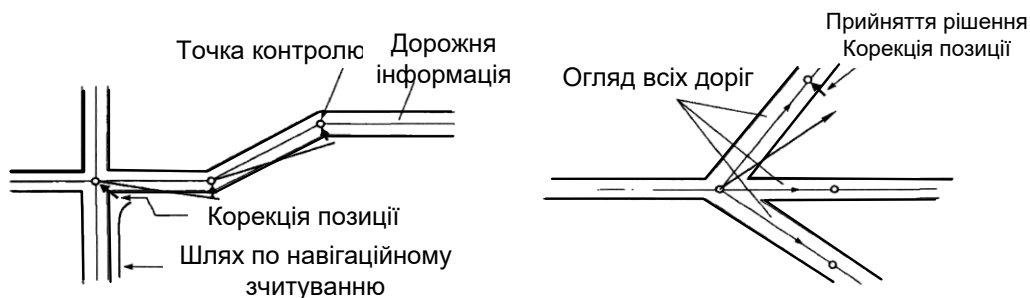


Рисунок 5.22 – Коректування шляху      Рисунок 5.23 – Вибір шляху на перетині доріг

Потім робиться порівняння, як показано на рис. 5.22. Вибирається найбільш відповідна дорога і коректуються координати автомобіля по карті. Коли автомобіль досягає перехрестя, вибір дороги визначається напрямом руху (рис. 5.23). Якщо дороги на перехресті виглядають приблизно однаково, як на рис. 5.23, навігаційний комп'ютер простежує їх по карті вперед і визначає коефіцієнт кореляції для кожної з доріг відносно необхідного маршруту. Вибирається дорога з найбільшим коефіцієнтом кореляції.

### 5.8.2. Вибір оптимального маршруту

Окрім визначення поточних координат автомобіля, навігаційна система також може видавати інформацію, що полегшує вибір оптимального шляху проходження до місця призначення. Для цього навігаційний комп'ютер розглядає дорожню мережу між початковим пунктом і пунктом призначення і вибирає найкоротший маршрут. Прикладом методу визначення найкоротшого шляху по карті є алгоритм Дейкстра (Dijkstra algorithm).

У алгоритмі Дейкстра проводиться визначення всіх перетинів доріг від стартової точки і обчислюються найкоротші шляхи до кожної точки перетину. Наприклад, якщо є дорожня мережа, як на рис. 5.24а, пошук перетинів почнеться від початкової точки А, як показано на рис. 5.24б. Спочатку будуть розглянуті перетини В і С. Відстані від точки А до кожного з перетинів вказані усередині кружечків. Потім розглядаються перетини Е і F, що з'єднуються з точкою С, для цих перетинів вказана відстань від стартової точки А (рис. 5.24б (2)). Після цього, розглядаються перетини D і E, сполучені з точкою В, на рис. 5.24б (3) вказані відстані від стартової точки А до D і E. При цьому відстань до точки E вказана через точку С, оскільки воно менше, ніж через D (було б 8). Точка (1) пов'язана з точкою E, і маршрут через E виявляється коротшим, це відображено на рис. 5.24б (4). Найкоротшим шляхом до D виявляється маршрут А-С-Е-D. Таким чином для дорожньої мережі можна визначити найкоротший маршрут до будь-якого з перетинів (жирні лінії на мал. 5.24б (6)).

Використання цього алгоритму дає змогу визначити найкоротший маршрут до місця призначення. Маючи в своєму розпорядженні сучасну навігаційну систему, водій може не побоюватися збитися з шляху.

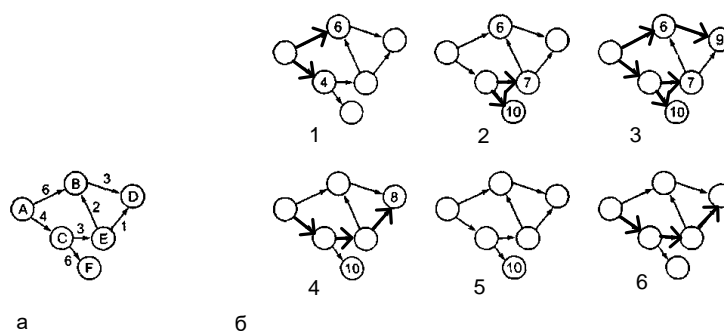


Рисунок 3.24 – Алгоритм Дейкстра

Навігаційна інформація повідомляється водієві різними способами: від вказівки символом положення на карті місцевості до команд голосом через синтезатор мови про необхідність повернути ліворуч або праворуч .

### 5.9. Супутникова позиціонуюча система GPS

Система GPS (рис. 5.25) може використовуватися для визначення абсолютних координат автомобіля. Вона складається з 18 основних і 3 запасних супутників на навколосемних орбітах (радіус 20183 км, період звернення –12 годин), запуснених міністерством оборони США в період з 1980 по 1992 рік (програма NA-VSTAR), і призначена поставляти інформацію про абсолютні координати різним об'єктам: морським суднам, літакам, ракетам, військовим підрозділам, автомобілям і т. ін. На супутниках встановлений атомний годинник, періодично на Землю посилаються сигнали з інформацією про системний час і параметри орбіти на частоті 1,57542 ГГц.



Рисунок – 5.25 Супутникова система

Користувачі обслуговуються системою GPS по двох категоріях: точне визначення координат (Precise Position-Service — PPS) — для військових і стандартна точність визначення координат (Standard Position Service — SPS) — для решти категорій користувачів, у тому числі і для автомобільної навігації. Теоретично досяжна точність

визначення координат – з похибкою до 100 м, на практиці координати визначаються з більшою точністю – до 30 метрів.

Координати приймача  $(X, Y, Z)$  і супутника  $(U_i, V_i, W_i)$  зв'язані співвідношенням:

$$P_i = \sqrt{(X - U_i)^2 + (Y - V_i)^2 + (Z - W_i)^2} + R.$$

Тут  $P_i$  — відстань між супутником і приймачем,  $R$  — тимчасова помилка, що виникає через неможливість точно синхронізувати атомний годинник супутника і кварцовий генератор приймача. Таким чином при відомих координатах  $\{U_i, V_i, W_i\}$  чотирьох супутників (рис. 5.26) і відстані від супутників до приймача  $P_i$  з вирішення чотиривимірного нелінійного рівняння визначаються координати приймача  $(X, Y, Z)$ .

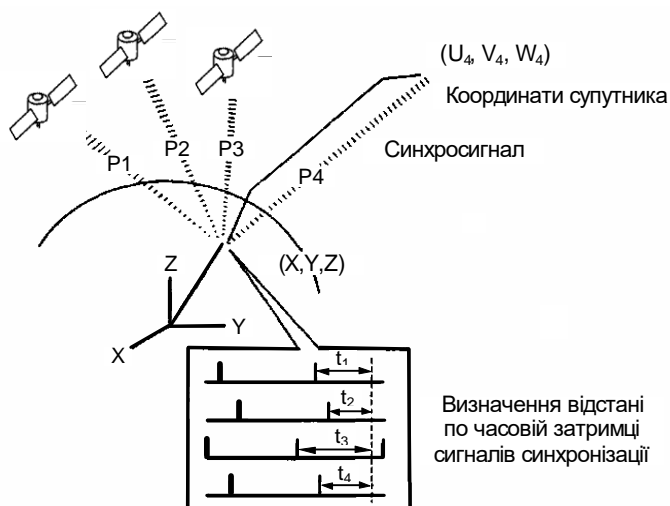


Рисунок – 5.26 Визначення координат за допомогою GPS

Координати супутника визначаються за рішенням рівняння Кеплера, для чого і передається інформація про системний час.

Відстань  $P_i$  між супутником і приймачем визначається за часом затримки  $t$ , приходу синхронізуючого сигналу із супутника (швидкість розповсюдження радіохвиль — постійна величина).

Вважають, що навігація за допомогою GPS є найбільш перспективною, але є і недоліки:

1. При першому зверненні початкові координати визначаються відносно довго — 2...3 хвилини. Надалі інформація оновлюється набагато швидше – протягом декількох секунд.

2. Система працює в умовах прямої видимості з 4 супутниками. Гори і високі будівлі можуть бути перешкодами.

### **5.10. Приклади автомобільних навігаційних систем**

В середині 80-х років була випущена перша автомобільна навігаційна система Etak Navigator, серійного виробництва. У ній використовувалися електронні векторні карти дорогий на дисках ємкістю 3,5 Мб, навігаційне числення, алгоритм орієнтування на карті за конфігурацією пройденого шляху, дисплей. Як датчики використовувалися диференціальний одометр і компас.

Система Travepilot (друге покоління системи Navigator) була випущена спільно Etak Inc. і Bosch GMBH в 1989 році. Картографічна інформація зберігалася на CD-ROM, його ємкість дає змогу мати на одному диску карти декількох країн. Інтерфейс Travepilot став своєрідним стандартом для подальших моделей автомобільних навігаційних систем. Положення і напрям руху автомобіля відносно до карти зображалося стрілкою в центрі нижньої частини дисплея. При русі автомобіля змінюється орієнтація карти на дисплеї, і водієві легко пов'язувати те, що він бачить через вітрове скло, з картою.

У правій частині карти вказаний масштаб. Він може мати масштаб 1/8 милі для детального перегляду вулиць до 30 миль, коли видно тільки великі дороги. Під час парковки водій, використовуючи програмовані кнопки, міг вводити і отримувати від Travepilot різну інформацію. Наприклад, можна ввести дані про мету поїздки у вигляді

назви вулиці, номер будинку і так далі. Traverilol виділяє таку мету мерехтливими зірочками на дисплеї, указує відстань до мети і напрям на неї від поточного положення автомобіля у верхньому рядку дисплея. Якщо заданий номер будинку, виділяється ділянка вулиці, де він знаходиться.

Підміню дає змогу водієві проводити ручне коректування положення автомобіля на карті. Це відбувається не частіше за 1 раз на 1000 миль шляху через помилок в картах та алгоритм визначення положення автомобіля за конфігурацією пройденого шляху і так далі.

Traverilol був виконаний на процесорі V50, мав 0,5 Мб DRAM, 64 Кб EPROM, 8 Кб пам'яті, що не відключається, для зберігання інформації про поточне положення автомобіля, порт RS-232 і вільні слоти для підключення до інших пристроїв, наприклад рації. У системах Traverilol на 400 пожежних автомобілях і швидкій допомозі Лос-Анджелеса диспетчери по рації вводили екіпажам координати пунктів призначення.

Прототипи навігаційної системи Zexel NavMate випробовувалися ще в 1990 році. Орієнтування проводилося по пройденому шляху, по навігаційному численню і електронних картах. У 1994 році в NavMate вбудували приймач GPS. Комбіноване використання навігаційного числення, електронної карти, орієнтування за конфігурацією пройденого шляху забезпечують точність визначення позиції автомобіля – 30 м (тільки GPS дає точність  $\pm 10$  м).

Система NavMate під іншими назвами (TetraStar, NeverLost, GuideStar) випускалася різними виробниками (GM, Ford, Siemens Automotive) і встановлювалася як опція як на автомобілі від виробника, так і в автопарках фірм, що дають автомобілі в оренду (Avis Rent A Car, Hertz).

Картографічна інформація (по США) для NavMate зберігається на дев'яти PC-картах і включає відомості про дороги, вулиці, номери будинків, цікаві місця, магазини, лікарні і так далі.

Мета поїздки задається як адреса на вулиці, перехрестя, об'єкт інтересу. Може бути введена умова для прокладки маршруту, наприклад, виключення швидкісних трас. Інформація водієві видається на 4-дюймовий кольоровий рідкокристалічний дисплей у вигляді карти і вказівних стрілок. Є підказка голосом при наближенні до повороту.

У 1998 році Zexel випустив модернізований варіант NavMate. Картографічна інформація зберігається на трьох CD-ROM, користувач може вносити потрібні йому об'єкти до персональної адресної книги.

Фірма Nissan Motor Co розробила навігаційну систему Nissan Birdview з дружнім інтерфейсом. У режимі за замовчуванням на моніторі зображена місцевість, якою вона бачиться спостерігачеві, розташованому на висоті 300 м над автомобілем і з відстані 400 м позаду нього. Водій бачить місцевість біля і перед автомобілем з висоти пташиного польоту (звідси і Birdview) під кутом  $26^\circ$  до горизонту, що оптимально для людини. Ширина переднього плану 500 м, задній план на горизонті знаходиться приблизно в 7 км і має ширину 12 км. Можливий перегляд зображення з висоти 600, 1200, 2400 і 4800 метрів.

На монітор може бути виведене зображення місцевості і в звичайному двовимірному форматі.

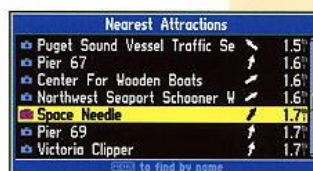
На ринку є відносно недорогі (менше 900 доларів) супутникові автомобільні навігаційні системи, наприклад, Garmin Street Pilot III, які можна встановлювати в будь-якому автомобілі на панелі під лобовим склом.

Система Garmin StreetPilot III (рис. 5.27) має кольоровий дисплей розміром 8,6x4,5 см роздільною здатністю 305 x 160 пікселів, підказки водієві робляться голосом, картографічна інформація зберігається на CD-ROM, похибка визначення координат – менше 15 м. Пристрій підключається до автомобільної бортової мережі 12 В або живиться автономно від батарей. Природно, приймач системи ефективно працює тільки в умовах прямої видимості достатньої кількості супутників.

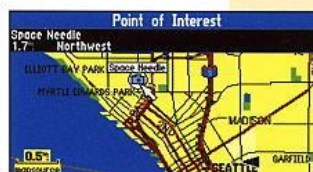
Garmin StreetPilot 111 може працювати і як маршрутний комп'ютер.



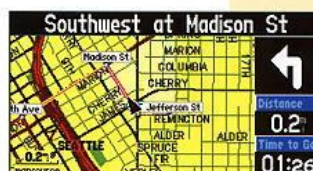
**GARMIN**



Screen shown with MapSource® City Navigator data



Screen shown with MapSource® City Navigator data



Screen shown with MapSource® City Navigator data

Рисунок – 5.27 Автомобільна навігаційна система Garmin StreetPilot III:  
а — загальний вид системи Garmin StreetPilot III; б — дисплей в навігаційному режимі; в — режим вибору пункту призначення; г — дисплей в режимі маршрутного комп'ютера



Рисунок – 5.28 Інші види навігаційних систем

## **5.11. Системи охоронної сигналізації, протиугоні пристрої**

Автомобілі час від часу кра, причудутому третину з них зазвичай так ніколи і не знаходять. Приблизно 25% від загального числа злочинів так чи інакше пов'язані з автомобілями. Велику частину випадків становлять крадіжки автомагнітол і залишених в салоні речей, угони автомобілів підлітками. В останньому випадку через недосвідченість водіїв нерідко виникають дорожньо-транспортні пригоди. Таким чином, системи охоронної сигналізації і протиугоні пристрої, що запобігають несанкціонованому доступу в салон автомобіля, потрібні не тільки для боротьби з крадіжкою, але і для підвищення дорожньої безпеки.

Більшість викрадачів автомобілів – низькокваліфіковані підлітки, тому навіть прості засоби сигналізації, як показує статистика, значно зменшують ризик угону.

З іншого боку, ніякі засоби захисту не зупинять кваліфікованих фахівців-викрадачів, якщо вони будб-що вирішили викрасти саме цей автомобіль. Ефективним виявляється застосування прихованих радіомаяків, за якими міліція виявляє викрадений автомобіль приблизно в 93% випадків.

### ***5.11.1. Електронні протиугоні системи***

Електронні протиугоні системи є стандартним устаткуванням на більшості нових автомобілів і можуть встановлюватися на випущених раніше. Промисловість випускає багато різних протиугонних систем, як правило, їх ціна корегована з пропонованим рівнем попиту. Протиугоні системи повинні бути ефективними, надійними, мати тривалий термін служби, стійкими до зовнішніх дій, наприклад до радіоперешкод. Установка протиугоної системи не повинна погіршувати безпеку автомобіля.

Протиугоні системи реалізують захист автомобіля умовно на трьох рівнях:

1. Захист по периметру. Система паралельно із захистом використовує мікрОВИМІКАЧІ для контролю за панелями автомобіля, що відкриваються (двері, капот, багажник). При спробі несанкціонованого відкриття панелі включаються

звуковий і світловий сигнали. Іноді система доповнюється датчиками, здатними виявляти рухи тіла.

2. Захист за об'ємом. Система за допомогою інфрачервоних, ультразвукових або мікрохвильових датчиків виявляє несанкціонований рух в салоні автомобіля. Ультразвукові датчики використовують ефект Доплера, коли будь-який рух в салоні змінює частоту сигналу ультразвукового випромінювача (40 кГц), що приймається приймачем. Мікрохвильова радіосистема працює на тому ж принципі в якій радіосигнал випромінюється па частоті 10 ГГц. Мікрохвильові датчики рідше помилково реагують на рух повітря і часто встановлюються в кабріолетах. Інфрачервоні датчики є збіркою «приймач — випромінювач» і вмонтовуються на стелі салону. Вони створюють невидиму інфрачервону завісу до підлоги салону. Приймач постійно контролює відображений сигнал і при його зміні (хтось з'явився в салоні) включається сигнал тривоги.

3. Імобілізація двигуна. Імобілізація двигуна здійснюється спеціальним ЕБУ, що забороняє запуск двигуна при отриманні сигналу тривоги. Це може бути виконано двома способами:

а) апаратною імобілізацією, при якій деякі електричні ланцюги системи пуску двигуна розриваються спеціальними реле або напівпровідниковими перемикачами. Ефективність апаратних систем імобілізації сильно залежить від скритності розміщення розмикаючих реле і немаркованих проводів в джгуті. Скритність потрібна для того, щоб не можна було шунтувати створювані цими пристроями розриви в ланцюзі;

б) програмною імобілізацією, коли по команді протиугоної системи ЕБУ двигуна забороняє його запуск, наприклад, робить недоступними калібрувальні діаграми подачі палива і запалення. Після цього двигун хоча і провертатиметься стартером, але не запуститься. Такі системи дуже ефективні, потрібно тільки виключити можливість запуску шляхом заміни ЕБУ двигуна на інший працездатний блок.

Склад протиугонних пристроїв, що входять в стандартну комплектацію, залежить від моделі автомобіля. У всіх випадках автомобіль комплектується

засобами захисту по периметру, багато протиугонних систем включають іммобілізатор і захист за об'ємом. Зазвичай протиугона система вмикається і вимикається ключем замка дверей або з дистанційного пульта водія, разом з центральним замком. Припаркувавши автомобіль, водій замикає двері і включає протиугоний пристрій натисненням кнопки на дистанційному пульті управління (брелоці). Світлодіодний індикатор включення протиугоної системи починає спалахувати: спочатку часто, інформуючи водія про включення системи, потім рідко, відлякуючи потенційних викрадачів.

При спробі несанкціонованого проникнення в автомобіль протиугонна система включає звуковий сигнал, періодично запалює і гасить фари, іммобілізатор блокує роботу двигуна. Приблизно через 30 секунд звукові і світлові сигнали припиняються, щоб не розрядити надмірно акумулятор, іммобілізатор залишається включеним до тих пір, поки власник автомобіля не вимкне його дверним ключем або з дистанційного пульта управління.

### ***5.11.2. Дистанційне керування протиугонними пристроями***

Система дистанційного керування дає змогу управляти протиугонним пристроєм і центральним замком з деякої відстані. Вона складається з портативного передавача, який носить водій, і приймача, підключеного до ЕБУ протиугоного пристрою і центрального замку.

Передавач розміщується в брелоці або самому ключі. Для мініатюризації застосовуються багат шарові друкарські плати і безкорпусні мікросхеми. Живлення здійснюється від мініатюрних батарей, як для наручного годинника.

Передавачі виконуються на базі спеціалізованих мікросхем, наприклад HCS200, HCS201 (Microchip), або недорогих 8-розрядних мікроконтролерів, наприклад Мс68hc05кз (Motorola). Другий варіант дорожчий, але є можливість застосувати одне і те ж устаткування в передавачах з різними функціональними можливостями для різних систем дистанційного керування, що відрізняються криптографічними алгоритмами, інтерфейсом і так далі

Протиугона система вмикається і вимикається передавачем посиленням відповідного цифрового коду. Код передається послідовно, використовується інфрачервоне випромінювання або радіосигнал в УКВ-ДІАПАЗОНІ. Системи, що використовують інфрачервоне випромінювання, мають малий радіус дії, потребують точного наведення променя передавача, але не створюють електромагнітних перешкод. УКХ-системи мають більший радіус дії, але сигнал може бути перехоплений і декодований викрадачами за допомогою відповідної електронної апаратури. УКХ-випромінювачі можуть бути джерелами електромагнітних перешкод, тому їх параметри регламентуються відповідним законодавством. У більшості європейських країн передавачі автомобільних протиугонних систем працюють на частоті 433,9 МГц, у Франції — 224 МГц, в Австрії і Італії — 315 МГц, Великобританії — 418 МГц.

Передача сигналів кодової інформації в автомобільних протиугонних системах проводиться як правило в одному напрямі з міркувань здешевлення устаткування. Брелоки і електромеханічні ключі приймачів не мають, хоча двонаправлені сигнали значно ускладнили б злом протиугонних систем.

Для підвищення секретності ліній зв'язку багато протиугонних систем використовують набір кодів, тобто при кожному натисненні кнопки передавача посилається свій код з набору. Програмне забезпечення приймача синхронізує його роботу з передавачем, тобто приймач чекає зміну коду. Зазвичай здійснюється циклічний перебір кодів із заданого набору (наприклад, з 25 різних кодів). Якщо приймач і передавач вийшли з синхронізації (наприклад, водій випадково натиснув кнопку передавача далеко від автомобіля), дистанційне керування працювати не буде, але система автоматично синхронізується при відмиканні дверей ключем.

### **5.11.3. *Характеристики противоугонних систем з дистанційним управлінням***

I. *Електроживлення.* Передавач живиться від малогабаритної літєвої батареї (наприклад, CR2032 ємкістю 210 мА-год). Елемент повинен працювати

без заміни не менше 5 років при середньому числі передач на добу – 50 і температурі 25 °С. Це забезпечує зручність експлуатації і збереження ущільнювачів в брелоці. Електронна схема брелока не використовується більше 99% часу. Велике значення має струм споживання в режимі очікування, який не повинен перевищувати 100 нА. У активному режимі після натиснення кнопки контролер споживає 2...3 мА без включення передавача і 10... 12 мА з працюючим передавачем.

Приймач отримує енергію з бортової електромережі автомобіля або автономного джерела. У режимі очікування струм споживання менше 1 мА.

2. *Швидкодія.* Час від натиснення кнопки на брелоці до розпізнавання коду в приймачі близько 300 мс, з урахуванням виконання команди — 1 с.

3. *Розміри і вартість.* Передавач повинен бути малогабаритним, щоб міг розміститись в корпусі брелока або звичайного механічного ключа. Люди іноді втрачають ключі і брелоки, у тому числі і від протиугонних систем. Заміна загубленого брелока не повинна коштувати дорого.

#### ***5.11.4. Робота протиугоної системи з дистанційним управлінням***

На рис. 5.29 і 5.30 схемний зображені алгоритми роботи передавача і приймача. При натисненні кнопки брелока (передавач) його мікросхема з режиму очікування переходить в робочий режим. Запускається 16-розрядний синхронізуючий лічильник. Генератор динамічного коду виробляє по певному алгоритму динамічний код (28—32 бітний) у функції від значення секретного ключа (статичний код) і стану синхронізуючого лічильника. Динамічний код, заводський номер брелока і код натиснутої клавіші утворюють слово, що управляє, завдовжки 60—70 біт, яке передається приймачу по радіоканалу або іншим способом. Якщо брелок зареєстрований в даному приймачі, тобто його ідентифікаційний номер, секретний код, стан синхронізуючого лічильника поміщені до ППЗП приймача, прийнята інформація ідентифікується по номеру брелока і обробляється. Запускається синхронізуючий лічильник приймача і

виробляється динамічний код в генераторі приймача. Якщо динамічні коди приймача і передавача збігаються, проводиться виконання переданої команди.

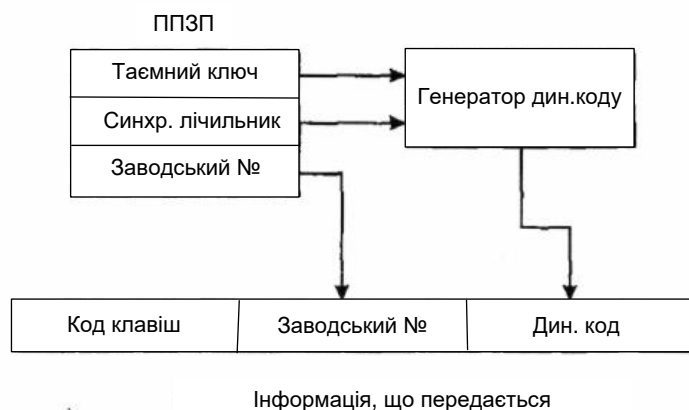


Рисунок – 5.29 Алгоритм роботи передавача

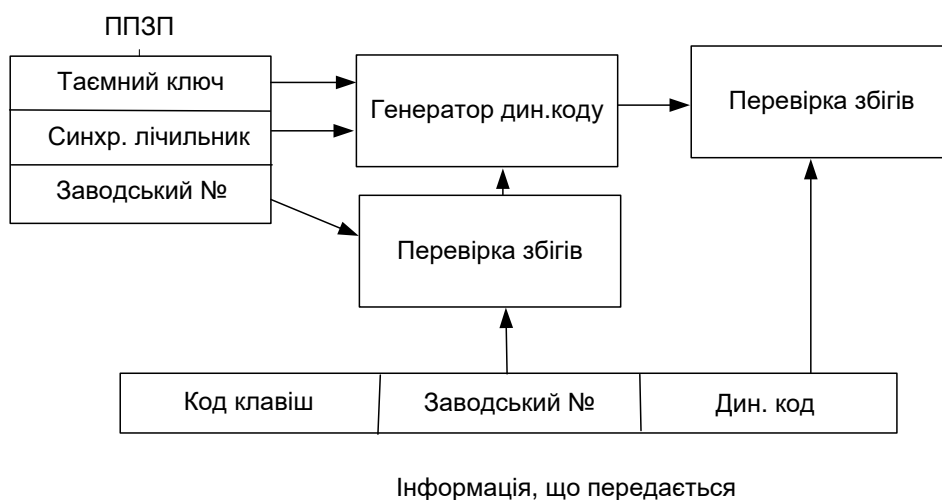


Рисунок – 5.30 Алгоритм роботи приймача

Заводський номер передавача і секретний ключ — статичні коди. Генератор динамічного коду, що тактується від 16-розрядного синхронізуючого лічильника, виробляє 65535 різних значень коду, що змінюються в кожній послі, повторюються циклічно. Якщо користуватися брелоком по 50 разів на день, повторення коду відбудеться через 1310 діб.

Системи дистанційного керування па основі динамічного коду є криптографічними. Захист автомобіля від вскриття залежить від кодової довжини секретного ключа, тобто від числа його можливих станів. Для автомобільних

застосувань вважається задовільним, якщо час злому системи методом сканування (перебору можливих комбінацій) перевищує 32 діб.

#### ***5.11.5. Види злому і захист від них***

Можливі варіанти злому системи дистанційного керування:

1. Відтворення раніше записаного коду.
2. Відтворення раніше записаного коду з використанням сканерів або грабберів.
3. Криптоаналіз.
4. Злом під час обслуговування.

Ранні системи дистанційного керування передавали фіксований код або змінний код з невеликого фіксованого набору. Викрадач з портативним комп'ютером і приймачем (граббер) записував сигнал з брелока автовласника, потім відтворював його в потрібний момент, відключаючи сигналізацію. При скануванні передавач викрадача періодично посилає кодові комбінації з невеликого набору, поки протиугона система не буде відключена кодом, що співпав.

Застосування динамічного коду, тобто збільшення числа можливих кодових комбінацій в посилці зробило використання сканування неможливим. З іншого боку, з'явилися інтелектуальні граббери, що зламують протиугоні системи з динамічним кодом і односторонньою передачею інформації, які працюють таким чином. Перша посилка з брелока записується граббером з одночасною генерацією перешкоди, блокуючої приймач. Не отримавши підтвердження про включення протиугоної системи, власник повторно натискає кнопку брелока. Граббер записує другу посилку, блокує це прийом приймачем, потім посилає першу посилку. Протиугона система включається. В потрібний час викрадач її відключить записаною граббером другою посилкою. Можливим методом боротьби проти цього алгоритму роботи граббера є використання двонаправленої передачі інформації в системі дистанційного керування. Але ця боротьба нескінченна.



Криптоаналітик за записами декількох реалізацій динамічного коду, отриманих граббером, може визначити алгоритм роботи генератора і секретний ключ.

У сучасних протиугонних системах часто застосовують спеціалізовані мікросхеми фірми Microchip, що реалізують алгоритм генерації псевдовипадкові послідовності (динамічного коду) Keeloq з довжиною ключа 64 біта. Є оцінки середнього часу для апаратного розкодування грубою силою (перебором комбінацій) залежно від витрат на зламуюче устаткування і довжини ключа (табл. 1).

Таблиця – 1 Час розкодування протиугінної системи

Вартість обладнання	Довжина ключа в бітах		
	56	64	80
100000 USD	35 год	1 год	70000 років
1000000 USD	3,5 год	37 діб	7000 років
1000000 USD	21 хв	4 доби	700 років

Для злому протиугоної системи потрібно мати спеціалізоване устаткування або СуперРЕОМ типу Craу, оскільки операційні системи звичайних комп'ютерів не пристосовані для обробки довгих кодових слів. Криптоаналіз обійдеться невиправдано дорого.

У автосервісі викрадачі можуть спробувати зареєструвати свій брелок в приймачі автомобіля. Далі можна записати за допомогою граббера команду ресинхронізації із зареєстрованого брелока, щоб відтворити її пізніше при угоні.

Отже, програмне забезпечення приймача повинне інформувати власника про підключення ще одного передавача. Для нормальної роботи системи дистанційного керування вміст 16-розрядних синхронізуючих лічильників приймача і передавача повинні збігатися і ідентифікуватись з кожним натисненням кнопки брелока. На практиці можливі випадкові натиснення кнопок брелока, що ведуть до розсинхронізації, що повинно коректуватися.

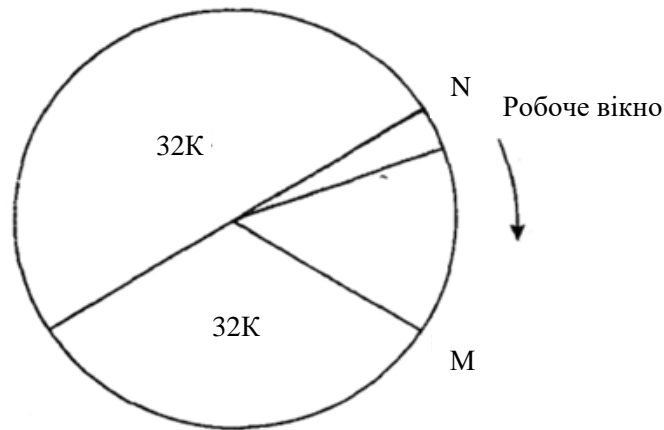


Рисунок – 5.31 Алгоритм синхронізації

Рисунок 5.31 пояснює алгоритм синхронізації в протиугоних системах. Код в синхронізуючому лічильнику циклічно змінюється з кожним натисненням кнопки брелока, пробігаючи послідовно значення  $0, 1 \dots N, N+1 \dots, 2^{16}-1, 0, 1 \dots$ . Хай поточний стан лічильника приймача  $N$ . Приймач сприйме як дозволені динамічні коди, відповідні станам синхронізуючого лічильника від  $N$  до  $(N + D)$ , де  $D$  — ширина робочого вікна, зазвичай  $D = 16$ . В межах робочого вікна ресинхронізація проводиться однією посилкою непомітно для власника.  $32K$  станів лічильника до  $N$  є забороненими,  $32K$  станів лічильника після  $N$  є дозволеними. Робоче вікно і обидві зони циклічно переміщуються при синхронізації лічильника.

Якщо з брелока поступає динамічний код, що відповідає стану синхронізуючого лічильника  $M$  поза робочою зоною, але в дозволеній зоні, приймач запам'ятовує  $M$  і чекає наступної посилки. Якщо у наступній посилці передається код, відповідний до  $(M + 1)$ , проводиться ресинхронізація лічильника приймача, робоче вікно зміщується в нове положення, послана команда виконується.

Отримавши код із забороненої зони, приймач на якийсь час відключається, щоб перешкодити скануванню.

Після запису подвійної посилки для ресинхронізації викрадач повинен 32К разів натиснути кнопку брелока, щоб посланий з граббера код опинився знову в дозволений зоні. Крім того, приймач запам'ятовує декілька останніх спроб ресинхронізації (зазвичай 4) і не дозволяє використовувати записані кодові комбінації повторно.

Більшість протиугонних систем підтримують режим Valet, коли для обслуговування автомобіля система відключається і немає необхідності передавати брелоки стороннім особам.

#### ***5.11.6. Шифратори і дешифратори динамічного коду Keeloq***

Ці мікросхеми фірми Microchip використовуються в більшості сучасних автомобільних протиугонних систем.

Код Keeloq є двійковою псевдовипадковою послідовністю з періодом 264-біт. Для ідентифікації передавача використовуються блоки завдовжки 32 біта. Унікальний для кожного передавача 64-бітовий ключ — це початковий стан зрушуючого регістра генератора псевдовипадкової послідовності.

Хоча в криптографії вважається, що безпека алгоритму повинна базуватися на довжині ключа, а не на секретності алгоритму, ніхто не поспішає публікувати свої алгоритми. Так поступає і Microchip, тому можна зробити деякі логічні припущення.

Послідовності зрушуючих регістрів, що генерують псевдовипадковий сигнал, давно використовуються в криптографії, дослідженнях динаміки систем автоматики. Їх математична теорія добре розроблена, вони легко реалізуються, застосовувалися в криптографії ще до появи електроніки.

На рис. 5.32 показана блок-схема генератора псевдовипадкової послідовності. Якщо не цікавитися математичною стороною питання, то це зрушуючий регістр із зворотними зв'язками.

Виходи  $n$ -розрядного зрушуючого регістра підключені до блоку зворотного зв'язку. Вміст регістра зрушується праворуч. Біт «а» замінюється на «а<sub>n</sub>», і так далі В перший розряд записується значення, визначуване функцією зворотного зв'язку. Вихідний сигнал знімається з одного з розрядів і має період

до  $(a_{n-1})$ . У блоці зворотного зв'язку найчастіше всього використовується операція підсумовування по модулю два (що виключає АБО). Наприклад, генератор на рис. 33 видає послідовність ...111101011001000..., проходячи послідовно стани ...1111, 1110, 1101, 1010, 0101, 1011, 0100, 1100, 1001, 0010, 0100, 1000, 0001, 0011, 0111.

Є таблиці, в яких вказані розряди регістрів певної розрядності, що беруть участь у формуванні сигналу зворотного зв'язку, щоб вихідна послідовність мала максимальний можливий період  $(2^n - 1)$ . Наприклад, 8-4-1, 9-5-4-3-1, 64-2-1 і так далі. Відведення обов'язково робиться від крайніх розрядів. Вихідні сигнали таких генераторів називають М-послідовностями.

Шифри на основі М-послідовностей в чистому вигляді відносно легко розкриваються, оскільки є алгоритми, що дозволяють визначати структуру генератора за спостережуваним вихідним сигналом. Для подолання цього недоліку генератори потоку ключів ускладнюють.

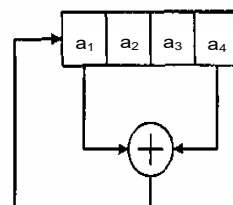
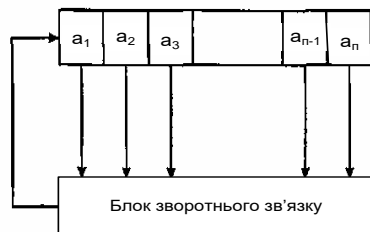


Рисунок – 5.32 Генератор М-послідовності

Рисунок – 5.33. Чотирирозрядний генератор ключів

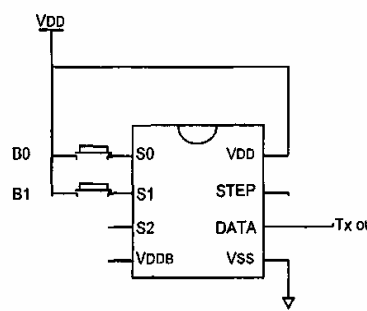
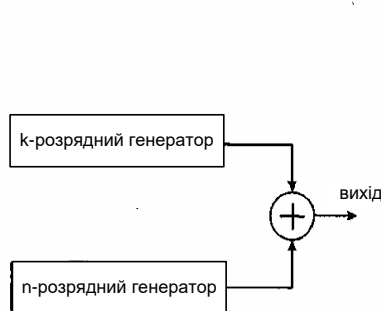


Рисунок – 5.34 Генератор Геффа

Рисунок – 5.35 Шифратор HCS201

Наприклад, на рис. 5.34 показаний один з таких варіантів — генератор Геффа.

Обидва генератори тактуються синхронно, їх вихідні сигнали подаються на схему того, що виключає АБО. Результуючий сигнал — М-послідовність з періодом  $(2n^k - 1)$ . Простором ключів буде безліч  $(n + \infty)$  розрядних початкових станів реєстрів.

У алгоритмі Keeloq передаються не 64-розрядні слова стану реєстра, а 32-розрядні блоки Цілісна вихідна послідовність завдовжки більше  $2n$  біт тут недоступна.

Шифратори HCS200, HCS201 і дешифратори HCS515 Microchip — типові спеціалізовані мікросхеми для використання в системах дистанційного керування, зокрема в автомобільних протиугонних системах.

Шифратори (наприклад, HCS201) дуже компактні (рис. 5.35), і для виготовлення на їх базі брелоків потрібні мікросхема передавача і мінімум зовнішніх компонентів.

При натисненні будь-яка з кнопок передає динамічний код і статус натиснутої кнопки, приймач виконує відповідну до цієї кнопки команду. При одночасному натисненні всіх кнопок передається замість динамічного коду 32-розрядне слово (seed) для генерації в приймачі секретного ключа. Це один з варіантів реалізації процедури реєстрації брелока в приймачі.

Перед використанням в шифратор за допомогою програматора заноситься інформація, що записується. Для захисту від злому ця інформація може бути лічена з ППЗУ тільки безпосередньо після запису. Потім вона недоступна для читання. Записуються:

- 28- або 32-розрядний номер брелока для його ідентифікації в системі;
- 64-розрядний секретний код — початковий стан генератора псевдовипадкової послідовності. Ключ може бути сформований виробником протиугінної системи самостійно. Може бути використаний алгоритм генерації ключів, пропонований фірмою Microchip, тоді застосовуватиметься стандартна процедура реєстрації брелоків в приймачі. Вхідною інформацією для алгоритму є

номер брелока і 64-бітовий секретний код, який виробник поміщує в приймач. У іншому варіанті це номер брелока і 32-бітове число з ППЗУ брелока (seed);

- 12 розрядне дискримінаційне слово. Довільний статичний код, рекомендується використовувати молодші розряди номера брелока;
- 32-розрядне секретне слово (seed), яке передається в одному з режимів реєстрації, для генерації в приймачі секретного ключа.

На рис. 20 схемно показано слово, що передається брелоком приймачу. Тут динамічний код — це зашифрований шифром Keeloq 32-розрядний блок, що включає: статус клавіші — 4 біта, дискримінаційне слово — 12 біт, стан синхронізуючого лічильника — 16 біт.

У ППЗУ приймача зберігаються дискримінаційне слово, секретний ключ і стан синхронізуючого лічильника. При збігу дискримінаційних слів приймача і передавача робиться висновок про спроможність дешифровки і команда виконується.

Розбіжність значень означає розсинхронізацію, тобто для шифрування і дешифрування використовувалися не синхронні послідовності з простору ключів. Приймач починає процедуру ресинхронізації, тобто починає вмикати синхронізуючий лічильник і дешифрувати повідомлення за допомогою відповідних станам синхролічильника і таємному ключу послідовностей, поки дискримінаційне слово не дешифрується правильно. Далі реалізується алгоритм синхронізації (мал. 5.30).

У приймач записують 64-бітове секретне слово виробника, яке застосовується при генерації секретного ключа, і дискримінаційне значення або вказівку, якою є використання 12 молодших розрядів номера брелока.

При реєстрації брелока приймач включається в режим «навчання». При першому натисненні кнопки брелока його номер записується в пам'ять приймача на вільне місце. За цим номером і 64-бітним секретним кодом генерується секретний ключ, такий же, як в брелоці. Починається дешифрування повідомлення для визначення синхронізуючого стану лічильника передавача, сформоване значення запам'ятовується. Кнопка брелока натискається повторно,

перевіряються значення дискримінаційного слова і синхролічильника. При успішному завершенні процедури брелок реєструється.

Виробники протиугонних систем розробили і інші процедури реєстрації.

#### ***5.11.7. Імобілізатор з транспондером***

Протиугоні системи постійно удосконалюються, одним з варіантів є електронний іммобілізатор з мікротранспондером в ключі запалювання. Замок запалення спрацьовує, якщо код, отриманий спеціальним приймачем від транспондера, збігається із заданим. Транспондер споживає електромагнітну енергію, що випромінюється приймачем на частоті 60...150 кГц, і не потребує додаткового джерела живлення.

На рис. 5.36, 5.37 показана протиугона система, виготовлена фірмою Philips і застосована на автомобілях багатьох моделей, включаючи BMW, GM і Volkswagen. Транспондер складається із складної мікросхеми, званої програмованим ідентифікатором (Programmable Identification Tag — PIT), яка підключена до джерела живлення, що складається з приймаючої котушки і конденсатора. Коли ключ запалення виявляється на відстані приблизно 5 см від замка, виникає електромагнітний зв'язок між котушкою транспондера і приймачем. Отримувана енергія виявляється достатньою для роботи мікросхеми PIT, яка передає кодове слово на приймач, модулюючи струм, що проходить через котушку на ключі. Якщо код, отриманий від транспондера, відповідає коду, що зберігається в пам'яті приймача, ЕБУ двигуна отримує дозвіл виконати запуск двигуна. Після успішного запуску двигуна приймач посилає в транспондер нову кодову комбінацію, саме вона використовуватиметься при наступному запуску двигуна. Таким чином досягається високий рівень захищеності протиугоної системи.

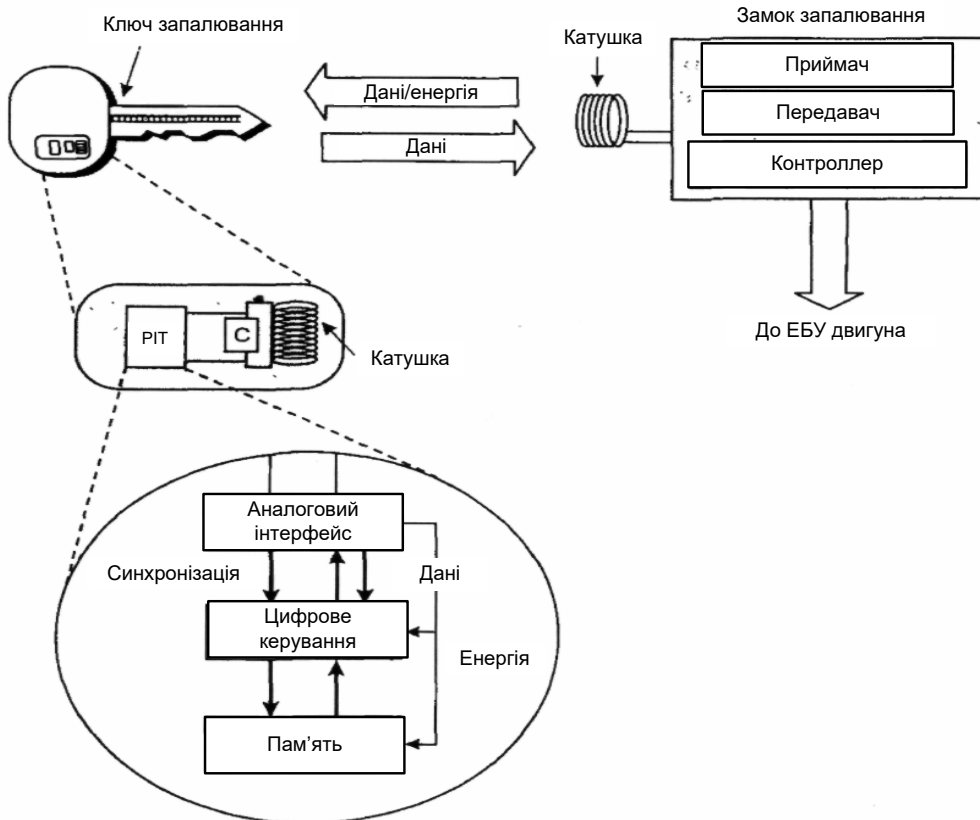


Рисунок – 5.36 Принцип роботи іммобілізатора з транспондером



Рисунок – 5.37 Зовнішній вигляд транспондера та улаштування системи

У деяких системах транспондер працює на відстані 11,3 м від приймача. Він розміщується в одязі водія. Якщо приймач втрачає зв'язок з транспондером (водія викинули з салону), через деякий час двигун зупиняється.

Інтелектуальні граббери засікають наявність такого транспондера і здатні імітувати його сигнал.



### 5.11.8. Конфігурація протиугонної системи

На рис. 5.38 показана конфігурація базової протиугонної системи з периметричним та об'ємним захистом та іммобілізатором. Система включає мікропроцесорний ЕБУ, який керує також центральним замком і радіосигналом з радіочастотного дистанційного пульта керування після закривання дверей автомобіля.

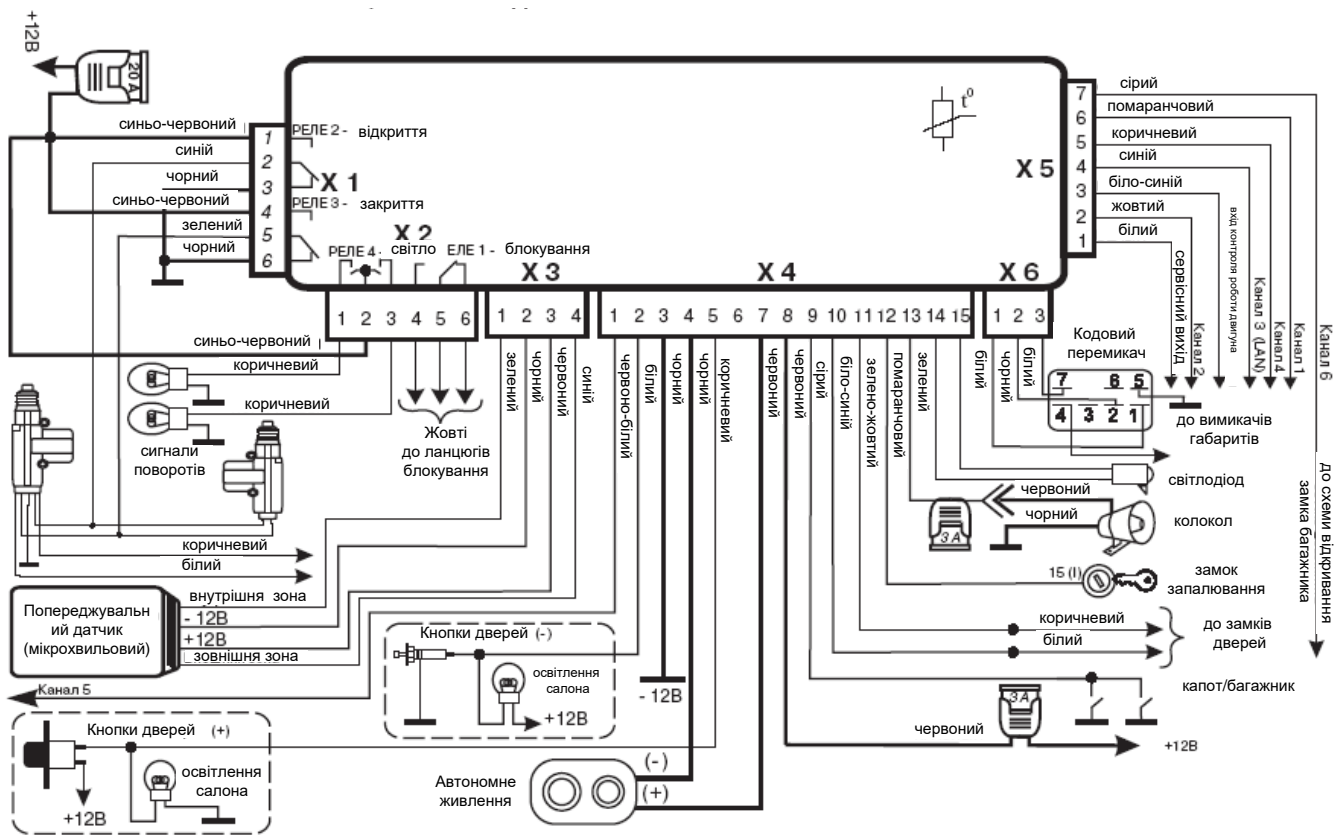


Рисунок – 5.38 Конфігурація протиугонної системи

Як тільки протиугонна система включена, вона може реагувати на такі дії:

- відкривання капота, дверей або багажника;
- спроба відкрити замок дверей автомобіля;
- спроба включити замок запалювання;
- спроба включити стартер;
- переміщення, рух в салоні автомобіля.

Коли протиугона система зафіксує спробу несанкціонованого доступу до автомобіля, на 30 с. вмикається звуковий сигнал і підсвітка фарами, іммобілізатор вносить розриви в ланцюги управління запуском і забороняє використання калібруючими діаграмами електронного запалювання і впрыску палива, після чого робота двигуна стає неможливою.

Для вимкнення протиугононої системи та відкривання дверей автомобіля з дистанційного пульта повинен бути надісланий відповідний код.



Рисунок – 5.39 Комплект охоронної системи

*Запитання для самопідготовки*

- 1. Які глобальні позиціонуючі системи Ви знаєте?*
- 2. Склад штатної навігаційної системи автомобіля.*
- 3. Принцип визначення абсолютних координат супутникового навігаційного приймача.*
- 4. Переваги та недоліки матричних електронних карт.*
- 5. Переваги та недоліки векторних електронних карт.*
- 6. Навігаційне числення.*
- 7. Які ви знаєте рівні захисту автомобіля від незаконного заволодіння.*
- 8. Який принцип формування керуючого сигналу у охоронних систем з дистанційним пакуванням?*
- 9. Види злому охоронних систем.*

## 6 СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

### 6.1. Активні системи безпеки.

АКТИВНА БЕЗПЕКА - це сукупність конструктивних і експлуатаційних властивостей автомобіля, спрямованих на запобігання дорожньо-транспортним пригодам та виключення передумов їх виникнення, пов'язаних з конструктивними особливостями автомобіля, тобто такі системи автомобіля, які допомагають у запобіганні аварії. Властивості, що впливають на активну безпеку автомобіля.

#### *Гальмівні властивості*

Можливість запобігання ДТП найчастіше пов'язана з інтенсивним гальмуванням, тому необхідно, щоб гальмівні властивості автомобіля забезпечували його ефективне уповільнення в будь-яких дорожніх ситуаціях. Для виконання цієї умови сила, що розвивається гальмівним механізмом, не повинна перевищувати сили зчеплення з дорогою, залежною від вагового навантаження на колесо і стану дорожнього покриття. Інакше колесо заблокується і почне ковзати, що може призвести (особливо при блокуванні декількох коліс) до заносу автомобіля і значного збільшення гальмівного шляху. Щоб запобігти блокуванню, сили, що розвиваються гальмівними механізмами, повинні бути пропорційні ваговому навантаженню на колесо. Реалізується це за допомогою застосування більш ефективних дискових гальм.

#### *Тягові властивості.*

Тягові властивості (тягова динаміка) автомобіля визначають його здатність інтенсивно збільшувати швидкість руху. Від цих властивостей багато в чому залежить впевненість водія при обгоні, проїзді перехресть. Особливо важливе значення тягова динаміка має для виходу з аварійних ситуацій, коли гальмувати вже пізно, маневрувати не дозволяють складні умови, а уникнути ДТП можна лише випередивши події. Як і у випадку з гальмівними силами, сила тяги на колесі не повинна бути більшою від сили зчеплення з дорогою, в іншому випадку воно почне пробуксовувати. Запобігає цьому

протибуксувальна система. При розгоні автомобіля вона пригальмовує колесо, швидкість обертання якого більша, ніж у решти, а за необхідності зменшує потужність, що розвивається двигуном.

### *Стійкість автомобіля*

Стійкість - здатність автомобіля зберігати рух по заданій траєкторії, протидіючи силам, що викликають його занесення і перекидання в різних дорожніх умовах при високих швидкостях. Розрізняють такі види стійкості:

- Поперечна при прямолінійному русі (курсва стійкість). Її порушення проявляється в частій зміні напрямку руху автомобіля по дорозі і може бути викликано дією бічної сили вітру, різними величинами тягових або гальмівних сил на колесах лівого або правого борту, їх буксуванням або ковзанням, великим люфтом в рульовому управлінні, неправильними кутами установки коліс і т.д.;

- Поперечна при криволінійному русі. Її порушення призводить до заносу або перекидання під дією відцентрової сили. Особливо погіршує стійкість підвищення положення центра маси автомобіля (наприклад, велика маса вантажу на знімному багажнику на даху);

- Поздовжня. Її порушення проявляється в буксуванні ведучих коліс при подоланні затяжних зледенілих або засніжених підйомів і сповзання автомобіля назад. Особливо це характерно для автопоїздів.

### *Керованість автомобіля*

Керованість - здатність автомобіля рухатися в напрямку, заданому водієм. Однією з характеристик керованості є поворотність - властивість автомобіля змінювати напрямок руху при нерухомому рульовому колесі. Залежно від зміни радіуса повороту під впливом бічних сил (відцентрової сили на повороті, сили вітру і т.д.) поворотність може бути:

- недостатньою - автомобіль збільшує радіус повороту;
- нейтральною - радіус повороту не змінюється;
- надлишковою - радіус повороту зменшується.

Розрізняють поворотність шинну і нахилу. Шинна поворотність пов'язана з властивістю шин рухатися під кутом до заданого напрямку при бічному відведенні (зміщення площини контакту з дорогою відносно площини обертання колеса).

Кренна поворотність пов'язана з тим, що при нахилі кузова (крені) колеса змінюють своє положення відносно дороги і автомобіля (залежно від типу підвіски). Наприклад, якщо підвіска двоважельна, колеса нахилиються в сторону крену, збільшуючи відведення.

### *Інформативність*

Інформативність - властивість автомобіля забезпечувати необхідною інформацією водія та інших учасників руху. Недостатня інформація від інших транспортних засобів, що знаходяться на дорозі, про стан дорожнього покриття і т.д. часто стає причиною аварії. Інформативність автомобіля підрозділяють на внутрішню, зовнішню і додаткову. Внутрішня забезпечує можливість водієві сприймати інформацію, необхідну для управління автомобілем. Вона залежить від таких факторів:

- Оглядовість дає змогу водієві вчасно і без перешкод отримувати всю необхідну інформацію про дорожню обстановку. Несправні чи неефективно працюючі омивачі, система обдування і обігріву стекол, склоочисники, відсутність штатних дзеркал заднього виду різко погіршують оглядовість при певних дорожніх умовах.

- Розташування панелі приладів, кнопок і клавіш управління, важеля перемикачів швидкостей і т.д. мають забезпечувати водієві мінімальний час для контролю за показами, маніпуляції з на перемикачами і т.д. Зовнішня інформативність - забезпечення інших учасників руху інформацією від автомобіля, яка необхідна для правильної взаємодії з ними. У неї входять система зовнішньої світлової сигналізації, звуковий сигнал, розміри, форма і забарвлення кузова. Інформативність легкових автомобілів залежить від контрастності їх кольору щодо дорожнього покриття.

Додаткова інформативність - властивість автомобіля, дає змогу експлуатувати його в умовах обмеженої видимості: вночі, в тумані і т.д. Вона залежить від характеристик приладів системи освітлення та інших пристроїв (наприклад, протитуманних фар), поліпшує сприйняття водієм інформації про дорожньо-транспортну ситуацію.

### *Комфортність*

Комфортність автомобіля визначає час, протягом якого водій здатний керувати автомобілем без втоми. Збільшенню комфорту сприяє використання АКПП, регуляторів швидкості (круїз-контроль) і т.д. В даний час випускаються автомобілі, обладнані адаптивним круїз-контролем. Він не тільки автоматично підтримує швидкість на заданому рівні, але і за необхідності, знижує її аж до повної зупинки автомобіля.

## **6.1.1. Гальмівні активні системи безпеки**

### *Антиблокувальна система гальм*

(**ABS** - Anti-lock Braking System, АБС – Антиблокувальна система гальм)

«Пристрій для запобігання жорсткому гальмуванню коліс» німецька фірма Bosch запатентувала в далекому 1936 році, а початок сучасної історії АБС було покладено у 1964 році, коли дипломований інженер Гейнц Лібер (Heinz Leiber), який на той час працював в компанії TELDIX GmbH з Гейдельберга (Heidelberg), розробив основи функціонування таких систем. Пізніше він очолив відділення електрики та електроніки автомобілів у фірмі Mercedes-Benz (яка входить до холдингу Daimler-Benz) з Штуттгарт-Унтертюркхайме (Штуттгарт-Унтертюркхайме). У 1970 професор Ханс Шеренберг (Hans Scherenberg), один з вищих керівників Daimler-Benz, оголосив про створення перших працездатних зразків антиблокувальної системи. Звичайно, ні про які складні електронні системи на початку 70-х минулого століття не могло бути й мови. АБС з електронним управлінням з'явилися дещо пізніше і першу таку систему розробила в 1978 році фірма Bosch. Зрозуміло, що вперше

встановлювати АБС на серійних автомобілях з 1978 року стала саме фірма Daimler-Benz. Це були автомобілі Mercedes-Benz S-класу. З жовтня 1992 антиблокувальні системи входять в стандартну комплектацію всіх автомобілів Mercedes, а незабаром і BMW 7-ої серії.

З моменту представлення системи АБС на світовому ринку, компанія Bosch ґрунтовно удосконалила і модернізувала технологію електронних гальмівних систем. Їх функціональна ефективність постійно підвищується. Разом з тим проводиться й інженерне удосконалення, завдяки якій розміри і вага приладів стають меншими. У жовтні 2001 року компанія Bosch випустила систему АБС 8-го покоління. Її вага становила 1,6 кг, що порівняно з 6,9 кг першої системи 1978 року свідчить про ґрунтовні зміни технологій. Антиблокувальна система гальм робить те ж саме, що й досвідчений водій, тільки швидше, точніше, ефективніше і без будь-якої участі людини. Досить сказати, що АБС за секунду робить до 25 циклів пригальмовування, що абсолютно недосягне навіть для досвідчених водіїв.

Конструкція АБС, рис. 6.1, не дуже складна, але потребує високої культури проектування, виробництва і експлуатації. До складу найпростішої АБС входять: блок управління (електронний), який керує включеним у загальну гальмівну систему автомобіля гідромодулем; датчик обертання коліс і зубчастий диск, встановлений на осі колеса.

Антиблокувальна система має такі елементи:

- датчики кутової швидкості коліс;
- датчик тиску в гальмівній системі;
- блок управління;
- гідравлічний блок АБС;
- контрольна лампа на панелі приладів.

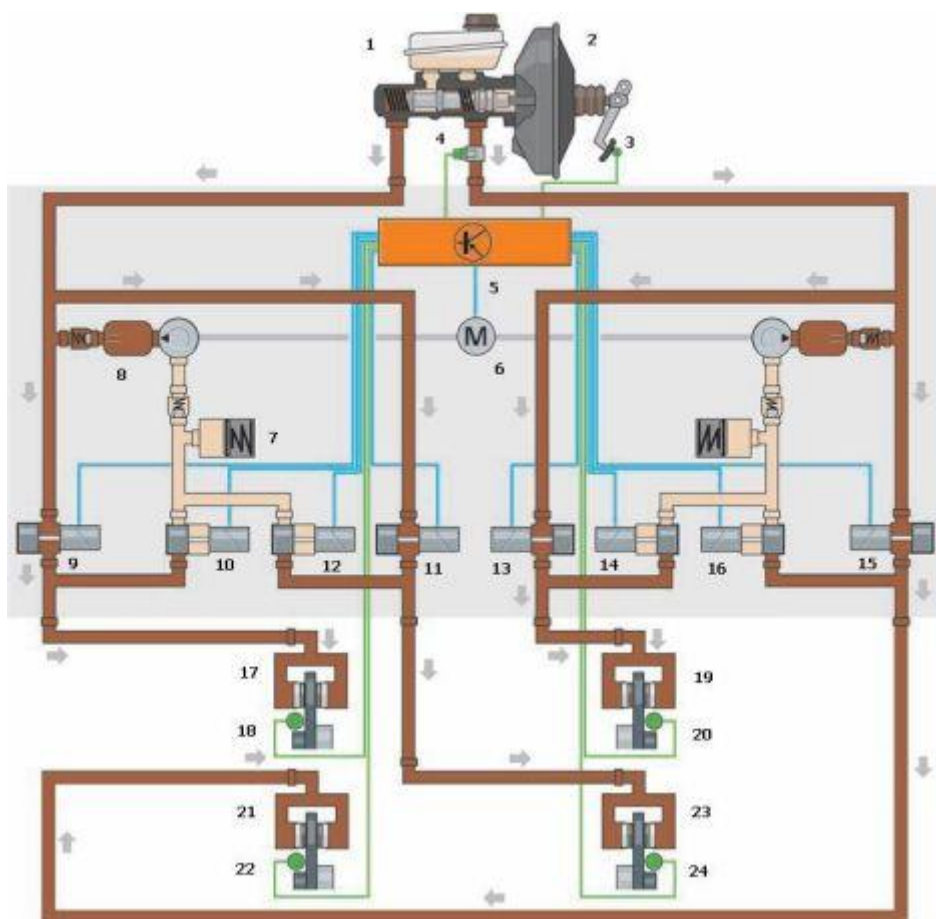
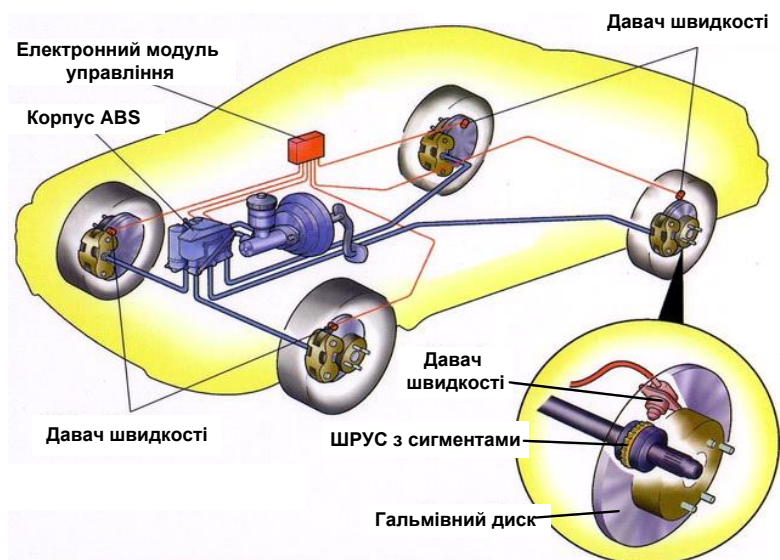


Рисунок – 6.1 Схема антиблокувальної системи гальм ABS

1-компенсаційний бачок; 2-вакуумний підсилювач гальм; 3-давач положення педалі гальма; 4-давач тиску в гальмівній системі; 5-блок



управління; 6-насос зворотної подачі; 7-акумулятор тиску; 8-демпфуюча камера; 9-впускний клапан переднього лівого гальмівного механізму; 10-впускний клапан приводу переднього лівого гальмівного механізму; 11-впускний клапан приводу заднього правого гальмівного механізму; 12-впускний клапан приводу заднього правого гальмівного механізму; 13-впускний клапан приводу переднього правого гальмівного механізму; 14-впускний клапан приводу переднього правого гальмівного механізму; 15-впускний клапан приводу заднього лівого гальмівного механізму; 16-впускний клапан приводу заднього лівого гальмівного механізму; 17-передній лівий гальмівний циліндр; 18- давач частоти обертання переднього лівого колеса; 19-передній правий гальмівний циліндр; 20- давач частоти обертання переднього правого колеса; 21-задній лівий гальмівний циліндр; 22- давач частоти обертання заднього лівого колеса; 23-задній правий давач циліндр; 24- давач частоти обертання заднього правого колеса;

Датчик кутової швидкості встановлюється на кожне колесо. Він фіксує поточне значення частоти обертання колеса і перетворює його в електричний сигнал, який передається у блок керування. На підставі сигналів давачів блок керування виявляє ситуацію щодо блокування колеса. Відповідно до встановленого програмного забезпечення, блок формує керуючі впливи на виконавчі пристрої - електромагнітні клапани і електродвигун насоса зворотної подачі гідравлічного блока системи.

Гідравлічний блок складається з таких конструктивних елементів:

- впускні і випускні електромагнітні клапани;
- акумулятори тиску;
- насос зворотної подачі з електродвигуном;
- демпферні камери.

У гідравлічному блоці кожному гальмівному циліндру колеса відповідає один впускний і один випускний клапани, які керують гальмуванням в межах свого контура.

Акумулятор тиску призначений для прийому гальмівної рідини при скиданні тиску в гальмівному контурі.

Насос зворотної подачі підключається, коли ємності акумуляторів тиску недостатньо. Він збільшує швидкість скидання тиску.

Демпферні камери приймають гальмівну рідину від насоса зворотної подачі і гасять її коливання.

У гідравлічному блоці встановлюється два акумулятори тиску і дві демпферні камери за кількістю контурів гідроприводу гальм.

Контрольна лампа на панелі приладів сигналізує про несправність системи.

#### *Принцип роботи антиблокувальної системи гальм*

Робота антиблокувальної системи гальм має циклічний характер. Цикл роботи системи включає три фази:

- утримання тиску;
- скидання тиску;
- збільшення тиску.

На підставі електричних сигналів (рис. 6.3), що надходять від давачів кутової швидкості, блок управління АБС порівнює швидкості обертання коліс. При виникненні можливості блокування одного з коліс, блок управління закриває відповідний впускний клапан. Випускний клапан при цьому також закритий. Відбувається утримання тиску в контурі гальмівного циліндра колеса. При подальшому натисненні на педаль гальма тиск в гальмовому циліндрі колеса не збільшується.

При довготривалому блокуванні колеса (рис.6.2), блок управління відкриває відповідний випускний клапан. Впускний клапан при цьому залишається закритим. Гальмівна рідина перепускається в акумулятор тиску. Відбувається скидання тиску в гальмівному контурі, при цьому швидкість

обертання колеса збільшується. При недостатній ємності акумулятора тиску, блок управління АБС вмикає в роботу насос зворотної подачі. Насос зворотної подачі перекачує гальмівну рідину в демпфуючу камеру, зменшуючи тиск в гальмівному контурі. Водій при цьому відчуває вібрацію педалі гальма.

Як тільки кутова швидкість колеса перевищить певне значення, блок управління закриває випускний клапан і відкриває впускний. Відбувається збільшення тиску в контурі гальмівного циліндра колеса.

Цикл роботи антиблокувальної системи гальм повторюється до завершення гальмування або припинення блокування. Система АБС на транспортних засобах не відключається.



Рисунок – 6.2 АБС в дії

Сучасні АБС набагато складніші. Тільки но з'явилась можливість використовувати в якості електронного блока управління мікропроцесорну техніку, функціональність АБС різко підвищилася. Встановлення додаткових датчиків, наприклад, датча кута повороту передніх коліс або датча швидкості повороту автомобіля навколо вертикальної осі, дозволяє мікропроцесору, на основі повних даних, здійснювати ще більш «інтелектуальне» управління гальмами, а на останніх моделях автомобілів - ще й тягою. Різне гальмівне зусилля на передніх і задніх колесах або, в іншому випадку, зовнішніх або внутрішніх колесах по відношенню до напрямку повороту дає змогу зробити рух

автомобіля стабільним в різних умовах як прямолінійного руху, так і в поворотах, і запобігти появі заносу.

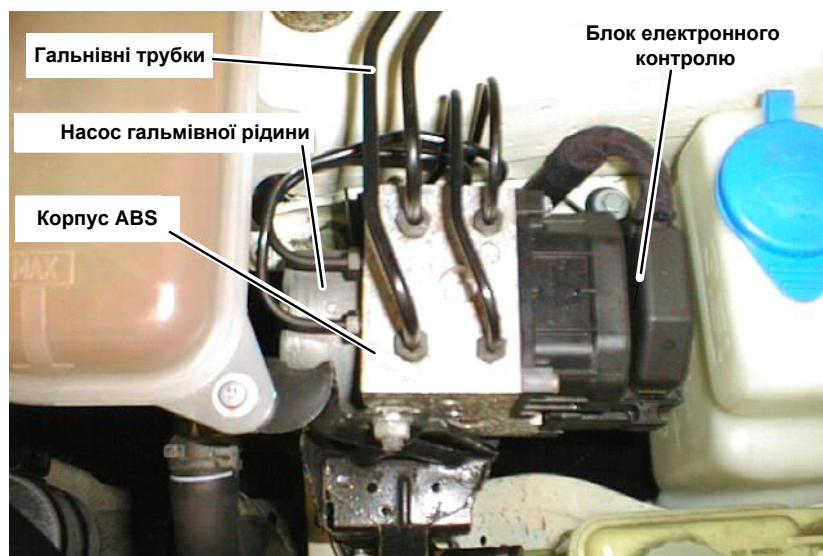


Рисунок –6.3 Елементи системи ABS

Головними постачальниками АБС є:

- Бендікс - використовуються Chrysler і Jeep;
- Bosch - головний постачальник для більшості виробників;
- Delco - зараз відомий як Delphi, використовується виключно в GM;
- Continental Teves - Ford, GM, Chrysler;
- Kelsey-Hayes - постачальник системи ABS для задньоприводних і повноприводних автомобілів Ford, Chevy та Dodge вантажівок;

- Nippondenso - використовуються на Infiniti і Lexus;
- Sumitomo - Mazda і Honda, також на деяких модифікаціях Ford Escort;
- Toyota - системи ABS для пікапів Toyota.

### ***Система екстреного гальмування***

Система допомоги при екстреному гальмуванні **пневматичного типу** встановлюється, як правило, на автомобілях, обладнаних системою АБС.

Принцип роботи цієї системи заснований на розпізнаванні ситуації екстреного гальмування контролюючи швидкість натискання педалі гальма. Швидкість натискання на педаль гальма фіксує датчик швидкості переміщення штока вакуумного підсилювача і передає сигнал в електронний блок керування. Якщо величина сигналу перевищує встановлене значення, електронний блок управління активує електромагніт приводу штока. Вакуумний підсилювач гальм дотискає педаль гальма. Екстрене гальмування відбувається до спрацьовування системи АБС.

Система допомоги при екстреному гальмуванні **гідравлічного типу** забезпечує максимальний тиск рідини в гальмівній системі завдяки використанню елементів системи курсової стійкості. До таких систем відносяться:

**Lucas (TRW)** спільно з **Mercedes-Benz** розробила електронну систему Brake Assist, інші назви: BAS (Brake Assist System), PA або EBA (аварійна Brake Assist)

Електронна система керування параметрами тиску у гідравлічній системі гальм (рис. 6.4), яка в разі необхідності термінового гальмування і недостатнього при цьому зусилля на педалі гальма, самостійно підвищує тиск в гальмівному трубопроводі, роблячи це у багато разів швидше, ніж людина. Електроніка гідравлічного гальмування розпізнає чи відбувся процес аварійного гальмування за швидкістю руху педалі і тиску на педаль. У разі аварійного гальмування тиск в системі гальмівного привода протягом

мілісекунд автоматично збільшується, тобто зменшується час на спрацювання гальма автомобіля в екстрених ситуаціях.



Рисунок – 6.4 Зовнішній вигляд модуля екстреного гальмування

В центральному модулі систем екстреного гальмування Brake Assist і ESP розташований електронасос, що розвиває тиск 200 бар.

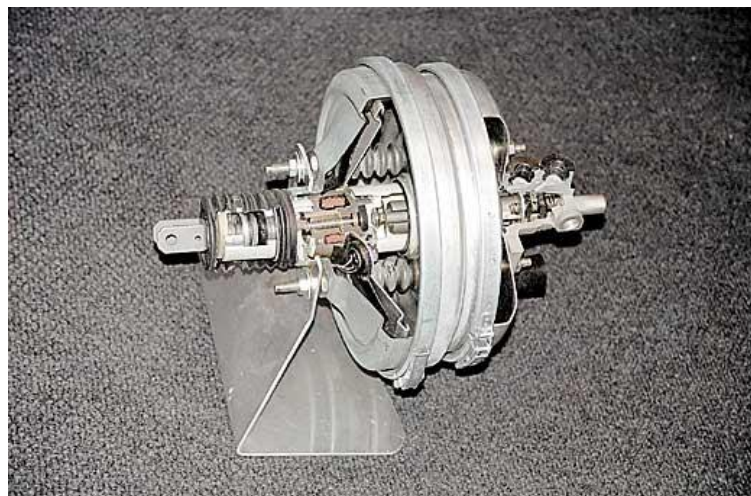


Рисунок – 6.5 Зовнішній вигляд вакуумного підсилювача гальм

У вакуумний підсилювач гальм (рис. 6.5) з функцією екстреного гальмування Brake Assist вмонтований давач швидкості переміщення штока (рис. 6.6).





Рисунок – 6.6 Зовнішній вигляд гальмівного штока з давачем

При цьому у недосвідчених водіїв зменшується час для реакції на ситуацію навіть при максимальній затримці в момент блокування коліс. Електроніка бере керування екстреним гальмуванням на себе і зупиняє автомобіль в максимально короткий термін значно скорочуючи гальмівний шлях, особливо на високих швидкостях руху.

Атовиробником **Audi** комплектуються автомобілі системою власної розробки **НВА** (гідравлічна система допомоги при гальмуванні), яка за необхідності підвищує стабільність гальмування, і підвищує гальмівне зусилля до максимуму швидко зупиняючи автомобіль. Блокуванню коліс при цьому запобігає АБС.

Іншими виробниками також випускаються аналогічні системи, але вони можуть мати іншу назву, наприклад **DBC** - Dynamic Brake Control (Система динамічного контролю за гальмуванням), схожа за будовою та має те ж призначення.

Система **НВВ** (Hydraulic Brake Booster), яка встановлюється на автомобілі Volkswagen в певних режимах експлуатації автомобіля (прогрів двигуна і ін.) дублює вакуумний підсилювач гальм. У роботі системи використовуються: давач тиску в гальмівній системі, давач розрідження у вакуумному підсилювачі, вимикач стоп-сигналу. При недостатньому розрідженні в камерах вакуумного підсилювача система НВВ вмикає насос зворотної подачі і підвищує тиск в гальмівній системі до необхідної величини.

Система **SBC** (Sensotronic Brake Control) встановлюється на автомобілі Mercedes-Benz. У своїй роботі система враховує безліч чинників, у тому числі: швидкість перенесення ноги з педалі акселератора на педаль приводу гальма, силу натискання на педаль гальма, якість дорожнього покриття, напрямок руху, інші параметри. У відповідності з конкретними умовами руху електронний блок управління формує оптимальне гальмівне зусилля на кожне колесо.

Система **BA Plus** (Brake Assist Plus), що встановлюється на автомобілі Mercedes-Benz, контролює відстань до автомобіля, який рухається попереду, за допомогою радарів системи DISTRONIC. Якщо відстань мала і існує небезпека зіткнення, система візуально та звуком попереджує водія. Якщо водій гальмує недостатньо ефективно – система догальмовує за нього.

Система автоматичного екстреного гальмування (рис. 6.7) за допомогою радара (лідара) і камери виявляє автомобіль який рухається попереду. У разі ймовірної аварії (швидкого скорочення відстані між автомобілями) система застосовує часткове або максимальне гальмівне зусилля, тим самим сповільнює або зупиняє автомобіль. Навіть якщо відбудеться зіткнення, наслідки нього для обох автомобілів будуть значно меншими.



Рисунок – 6.7 Дія системи автоматичного екстреного гальмування

Конструктивно система автоматичного екстреного гальмування побудована на інших системах активної безпеки - системі адаптивного круїз-контролю (контроль відстані) і системі курсової стійкості (автоматичне гальмування).

Провідний розробник електронних автомобільних систем – компанія **Bosch** на початку 2005 р. розпочала серійне виробництво системи **Predictive**



**Brake Assist (PBA)** (рис. 6.8), що є першим поколінням прогнозуючих систем безпеки Bosch CAPS (комбінована активна і пасивна безпека). У ситуаціях, коли адаптивний круїз-контроль (Adaptive Cruise Control) визначає, що автомобіль знаходиться на критично близькій відстані від інших транспортних засобів і водій не реагує на ситуацію, PBA самостійно переміщує гальмівні колодки ближче до дисків, готуючись до можливого аварійного гальмування. Якщо дійсно доведеться різко гальмувати, гальмівний шлях скоротиться, адже дія гальмівних колодок пришвидшиться на кілька мілісекунд.

Дослідження і розробки в тому ж напрямку проводить автовиробник Audi, який удосконалив попередню систему розробивши систему інтелектуального попередження про небезпеку зіткнення, реалізовану в моделі Audi Q7 з початку 2006 р. Якщо після втручання PBA водій все ще не вживає жодних заходів і відстань до іншого автомобіля продовжує скорочуватися, система попереджає водія про небезпеку, виконуючи легке гальмування в результаті чого увага водія повина інтуїтивно перемикатись на дорогу.



Рисунок – 6.8 Робота системи екстреного гальмування

Відомими системами автоматичного екстреного гальмування є:

- Pre-Safe Brake на автомобілях Mercedes-Benz;
- Collision Mitigation Braking System, CMBS на автомобілях Honda;
- Collision Warning with Auto Brake на автомобілях Volvo;

- City Safety на автомобілях Volvo;
- Predictive Emergency Braking System, PEBS від Bosch;
- Automatic Emergency Braking, AEB від TRW.

У всіх цих системах крім автоматичного екстреного гальмування реалізовано і інші функції, такі як:

- попередження водія про небезпеку зіткнення;
- активація деяких пристроїв систем пасивної безпеки.

Тому ці системи ще називають превентивними системами безпеки.

### *Електронні гальма*

Фірма Bosch створила і застосувала декілька видів систем гальмування за допомогою електричних сигналів ЕНВ. Ідея полягає в тому, що педаль гальма, яку натискає водій, не має прямого зв'язку з гідравлічною або пневматичною гальмівною системою рис. 6.9.

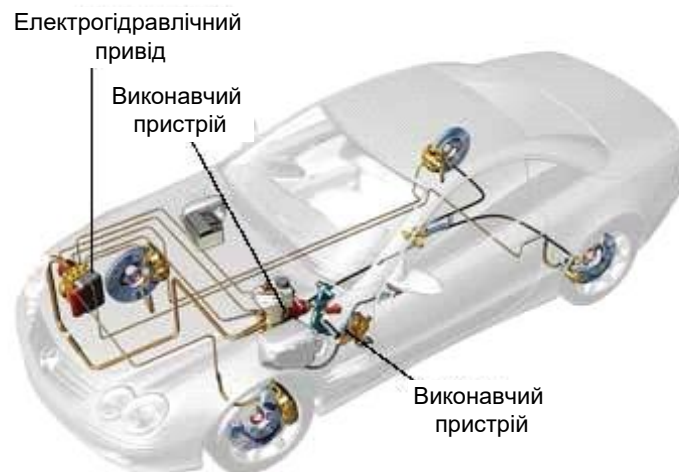


Рисунок – 6.9 Розташування елементів електронних гальм

Натискання педалі сприймає тільки блок керування гальмівною системою і саме він, використовуючи дані про положення машини в просторі, її швидкість і навантаження, дорожнє покриття, погодні умови і т. ін., розраховує

необхідне зусилля гальмування окремо для кожного конкретного колеса (рис. 6.10).



Рисунок – 6.10 Використовувані електронними гальмами елементи

Цей вид системи - продовження і поглиблення ролі цифрових систем в управлінні системими і елементами автомобіля. Лідером у конструюванні є фірма Bosch, яка розробляє і навіть пропонує кілька варіантів технології «гальма по дротах». Зокрема, система EBS (електропневматичні для вантажівок) вже застосовується в деяких моделях вантажівок Scania і в Mercedes-Actros. Система ЕНВ (електрогідравлічна для легкових автомобілів), запроваджуються в новітніх моделях легкових автомобілів компанії DaimlerChrysler. Найближчою перспективою є ЕМВ - електромеханічна система гальмування, в якій не будуть застосовуватися ні пневматичні, ні гідравлічні приводи гальм. Гальмівне зусилля, яке керується бортовим комп'ютером, буде створюватися за допомогою електромоторів.

Ще однією системою згаданого виробника є система SBC - Sensotronic Brake Control (електрогідравлічна гальмівна система, управління гальмуванням кожного колеса індивідуально).

В системі SBC застосовані революційні рішення, – наявна одна система пуску і центрального управління гальмівним зусиллям на кожне колесо індивідуально. Це наближає розробників і до реалізації ідеї про безаварійний рух. В системі Sensotronic Brake Control традиційний механіко-гідравлічний зв'язок між педаллю гальма і гальмівними дисками перерваний. Процес

гальмування регулюється електронною системою управління. Гальмівне зусилля при цьому розраховується блоком управління SBC за допомогою інформації, отриманої від приведення в дію педалі гальма. Команди виконання вводяться в контрольну систему CAN. Сигнали про кількість обертів коліс надходять безпосередньо через апарат управління SBC, після чого система здійснює контроль цих сигналів і розподіляє гальмівне зусилля на кожне колесо. Гідроаккумулятор високого тиску створює необхідний тиск для виконання команд системою, необхідний рівень тиску в системі підтримує електрогідронасос. При втраті електроживлення гідросистема продовжує працювати, не допускаючи розриву механічного зв'язку між педаллю гальма і гальмівними дисками. Таким чином, автомобіль може здійснити гальмування звичайним способом.

Система SBC складається з:

- давача переміщення педалі гальма;
- гідроімітатора гальмівного зусилля на педаль гальма;
- подвійного гальмівного циліндра без гідропідсилення з метою безпеки функціонування гальмівної системи при збоях електроніки;
- електронну систему управління, яка індивідуально розподіляє гальмівне зусилля на кожне колесо;
- датчика частоти обертання коліс;  
-датчиків, що контролюють роботу системи;
- електромотора з гідронасосом і гідроаккумулятором високого тиску;  
-клапани розподілу та керування;
- датчика тиску гальмівної рідини на кожне колесо;

Таким чином, система SBC (рис. 6.11) - електрогідравлічна система, яка включає в себе додаткові режими гальмування для різних ситуацій, скорочує гальмівний шлях при екстремому гальмуванні, швидко стабілізує автомобіль на будь-якому дорожньому покритті, забезпечує індивідуальний розподіл гальмівного зусилля на кожне колесо не залежно від системи привода, виконує підсушування мокрих гальмівних дисків шляхом короткочасних

пригальмовувань, що вперше застосовано фахівцями Mercedes-Benz на автомобілях серійного виробництва.

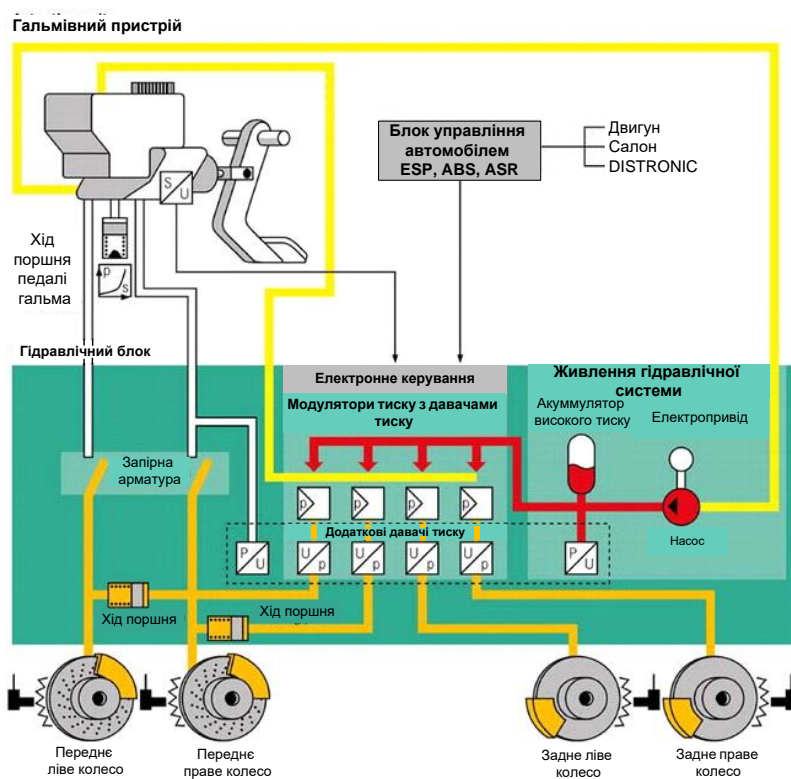
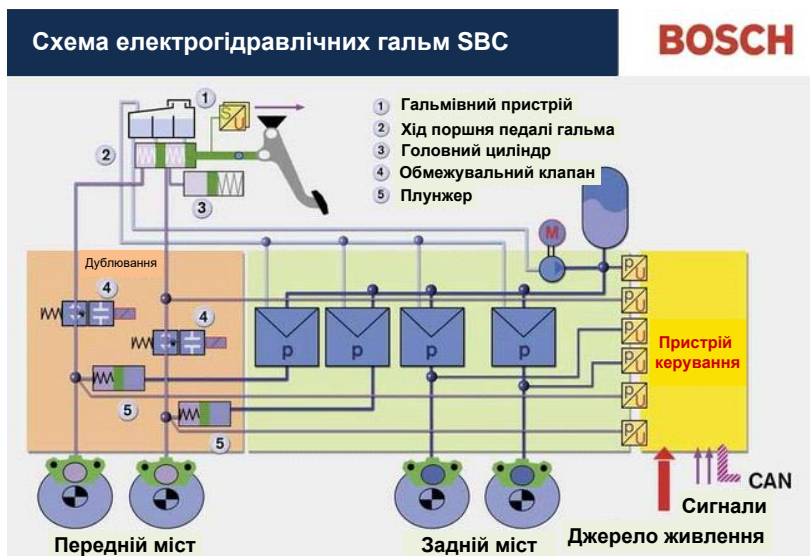


Рисунок – 6.11 Схема електронних гальм

Фірма **WABCO** також забезпечує автовиробників електронними системами гальмування під назвою **EBS** – (Electronic Braking System), в якій педаль гальма не має механічного зв'язку з гальмівною системою (рис.6.12).



Рисунок – 6.12 Зовнішній вигляд виконавчого органа електронних гальм

Розробник Continental Teves AG розробив дві власні системи керування гальмівною системою за допомогою електричних сигналів. Перша система **ЕНВ - Electro Hydraulic Brake**. При натисканні на педаль гальма з ЕНВ гальмівною системою, відповідна команда передається в електронному вигляді на електронний контролер гідроагрегату, який визначає оптимальне гальмівне зусилля і приводить в дію гальмівні супорти (рис. 6.13).



Рисунок – 6.13 Електронний актюатор системи ЕНВ.

### Компоненти ЕНВ:

- електронний блок управління;
- електронний модуль педалі педалі і датчики для контролю параметрів драйвера.

### Переваги ЕНВ

- короткий гальмівний шлях;
- стабільність поведінки;
- оптимізована педаль;
- відсутність вібрації під час ABS – режиму;
- покращена компоновка, зручність монтажу;
- можливість реалізувати всі необхідні гальмування, такі як ABS, EBD, TCS, ESP, BA, ACC і ін.;
- можливість об'єднання в єдину мережу з майбутньою системою управління дорожнім рухом.



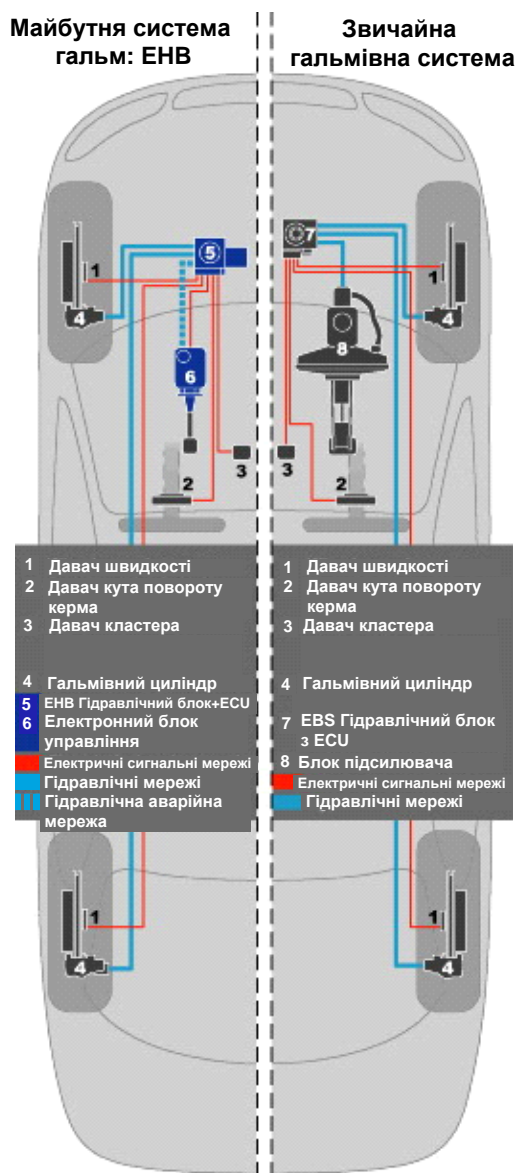


Рисунок – 6.14 Розміщення елементів **ЕМВ**

Друга система – **Electro Mechanical Brake** в якій гальмівна система виготовлена за технологією гальмування за електричними сигналами, не має гальмівної рідини і гідравлічних ліній (рис. 6.14). Гальмівне зусилля створюється безпосередньо на кожному колесі електродвигунами, роботою яких керує контролер і які приводяться в дію сигналами від електронного блока педаль. ЕМВ включає в себе всі функції гальмування і стабілізації руху, такі як ABS, BD, TCS, ESC.



## *Системи розподілу гальмівних зусиль*

Система розподілу гальмівних зусиль призначена для запобігання блокуванню задніх коліс завдяки управлінню гальмівним зусиллям задньої вісі.

Сучасний автомобіль влаштований так, що на задню вісь припадає менше навантаження, ніж на передню. Тому для збереження курсової стійкості автомобіля блокування передніх коліс повинно відбуватись раніше ніж задніх коліс.

При різкому гальмуванні автомобіля відбувається додаткове зменшення навантаження на задню вісь, оскільки центр тяжіння зміщується вперед, тому задні колеса, при цьому, можуть виявитися заблокованими.

Система розподілу гальмівних зусиль є програмним розширенням антиблокувальної системи гальм. Іншими словами, система використовує конструктивні елементи системи ABS в новій якості.

Загальноприйнятими торговими назвами системи є:

- EBD, Electronic Brake Force Distribution;
- EBV, Elektronische Bremskraftverteilung.

*Принцип роботи системи розподілу гальмівних зусиль*

Робота системи EBD, як і системи ABS, має циклічний характер. Цикл роботи включає три фази:

- утримання тиску;
- скидання тиску;
- збільшення тиску.

За даними датчиків кутової швидкості коліс блок управління ABS порівнює гальмівні зусилля передніх і задніх коліс. Коли різниця між ними перевищує задану величину, включається алгоритм системи розподілу гальмівних зусиль.

На підставі різниці сигналів датчиків блок керування визначає початок блокування задніх коліс. Він закриває впускні клапани в контурах гальмівних циліндрів задніх коліс. Тиск у контурі задніх коліс утримується на поточному

рівні. Впускні клапани передніх коліс залишаються відкритими. Тиск в контурах гальмівних циліндрів передніх коліс продовжує збільшуватися до початку блокування передніх коліс.

Якщо колеса задньої осі продовжують блокуватися, відкриваються відповідні випускні клапани і тиск в контурах гальмівних циліндрів задніх коліс зменшується.

При перевищенні кутової швидкості задніх коліс заданого значення, тиск в контурах збільшується. Відбувається гальмування задніх коліс.

Робота системи розподілу гальмівних зусиль закінчується з початком блокування передніх (ведучих) коліс. При цьому в роботу включається система ABS.

Робота системи розподілу гальмівних зусиль закінчується з початком блокування передніх (ведучих) коліс. При цьому в роботу включається система ABS.

**EBV** - система електронного розподілу гальмівних зусиль входить до складу ABS п'ятого покоління. Система контролює поведінку всіх коліс відносно один до одного і за допомогою електроніки регулює гальмівне зусилля, відповідно до ступеня натискання на педаль гальма і завантаженості автомобіля.

Принцип полягає в тому, що гальмівне зусилля передається на кожне колесо індивідуально. Кожне колесо гальмує індивідуально, а електронні датчики і мікропроцесор за багатьма параметрами оцінюють стан автомобіля в реальному часі, запобігають зносу і забезпечують найбільшу ефективність гальмування при будь-яких дорожніх умовах навіть при гальмуванні з максимальним зусиллям натискання на педаль гальма.

Наприклад, зі збільшенням навантаження на задній міст при повному завантаженні автомобіля система EBV створить на задні колеса більше гальмівне зусилля, ніж за наявності в салоні автомобіля лише водія. EBV гарантує правильне регулювання гальмівних сил.

## *Гальмо стоянки*

Автовиробник BMW розробив і використовує у автомобілях власного виробництва систему Handbrake with Automatic Hold (гальмо стоянки з автоматичною функцією).

Система допомагає водієві при встановленні автомобіля на стоянку і в різних дорожніх ситуаціях (рис. 6.15), що також сприяє підвищенню безпеки руху. Включення стоянкового гальма для забезпечення нерухомості автомобіля при його парковці проводиться натисненням на кнопку.

«Автоматична функція стоянкового гальма» автоматизує процес гальмування в певних ситуаціях, так, наприклад, водій звільняється від утомливих гальмувань при русі в режимі частих зупинок (функція автоматичного гальмування). Гальмо стоянки запобігає скочуванню автомобіля назад при русанні з місця на підйомі.

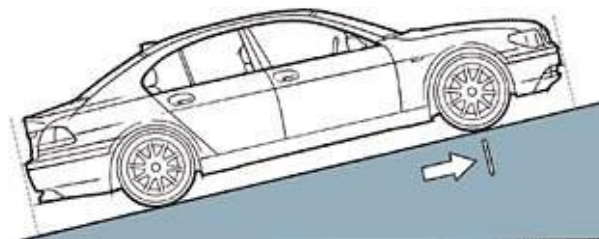


Рисунок – 6.15 Робота гальма стоянки

### **6.1.2. Системи керування**

#### *Підсилювач керма*

Такі розробники, як Bosch, BMW, з метою підвищення чіткості керування, зменшення фізичних зусиль під час керування автомобілем застосовують систему **AFS - Active Front Steering** (система активного фронтального кермового управління).

Це звичайний механізм з гідропідсилювачем Servotronic. Але кермовий вал розрізаний, і в нього вбудована «планетарна» передача, корпус якої може обертатися за допомогою електродвигуна. Управління системою відбувається за допомогою мікропроцесора.

Система активного кермового управління проста. Електродвигун з «планетарною» передачею, прибудований до звичайного рейкового кермового механізму, може довертати керовані колеса на 7-8 градусів за командою бортової електроніки. Тобто автомобіль може підкеруватись самостійно. Система AFS дозволяє змінювати передавальне відношення кермового привода в дуже широких межах. Чутливістю керує комп'ютер, і можна закласти в нього будь-яку програму. За допомогою системи AFS (рис. 6.16) можна поєднати дві властивості керма - «гостре» кермо на малій швидкості і занадто різкі реакції на високій, або спокійна поведінка на великій швидкості, але «тупе» кермо при парковці. На серійному автомобілі BMW 5-ї моделі передавальне відношення кермового механізму становить 1:18, і це компромісний варіант. Завдяки допомозі електродвигуна системи AFS це відношення в низькошвидкісних режимах знижується до 1:10 - це менше двох обертів керма від упору до упору. Паркуватися з таким «швидким» кермом дуже зручно! А щоб із зростанням швидкості автомобіль не ставав «нервовим» в управлінні, електроніка поступово зменшує активність роботи електродвигуна. На 180-200 км/год він взагалі відключається - передавальне відношення повертається до стандартного. А на максимальних швидкостях електромотор знову вступає в дію, але починає обертатися в протилежну сторону. Адже система AFS здатна не тільки збільшувати чутливість рульового управління, а й зменшувати її, підвищуючи передавальне відношення до 1:20 і більше.



Рисунок – 6.16 Актюатор системи AFS

Паралельно з вищезгаданими виробниками автомобілів та їх комплектуючих в цьому ж напрямку працює і **Continental Teves** (рис. 6.17), який створив **ESAS** Electronic Steer Assistance Steering (допоміжне електронне регулювання напрямку) яке призначене для виконання тих самих функцій і працює за алгоритмом попередньої системи.



Рисунок – 6.17 Актуатор системи ESAS.

Виробник **ASMO Co., Ltd** розробив дещо відмінну систему підсилення керма **E-VGR** – Electronic Variable Gear-ratio Steering Motor (Електронне змінне

передавальне число, що регулює двигун, регулювання числа повороту керма з електронним регулюванням).

Цей двигун (рис. 6.18) обладнаний системою, яка постійно змінює величину кута повороту передніх коліс залежно від кута повороту керма.



Рисунок – 6.18 Зовнішній вигляд двигуна системи E-VGR

### **6.1.3. Трансмійні системи**

#### ***Автоматичний контроль стійкості***

Система курсової стійкості (інша назва - система динамічної стабілізації) призначена для збереження стійкості і керованості автомобіля завдяки завчасному визначенню та усуненню критичної ситуації.

Система дозволяє утримувати автомобіль в межах заданої водієм траєкторії при різних режимах руху (розгоні, гальмуванні, русі по прямій, в поворотах і при вільному коченні).

Пристрій і принцип дії системи курсової стійкості розглянуті на прикладі найпоширенішої системи ESP.

#### ***Пристрій системи курсової стійкості***

Система курсової стійкості (рис. 6.19) є системою активної безпеки високого рівня і складається з:

- антиблокувальної систему гальм (ABS),
- системи розподілу гальмівних зусиль (EBD),
- електронного блокування диференціала (EDS),
- антибуксувальної системи (ASR).

До складу системи курсової стійкості входять такі пристрої:

- вхідні давачі;
- блок управління;
- гідравлічний блок.

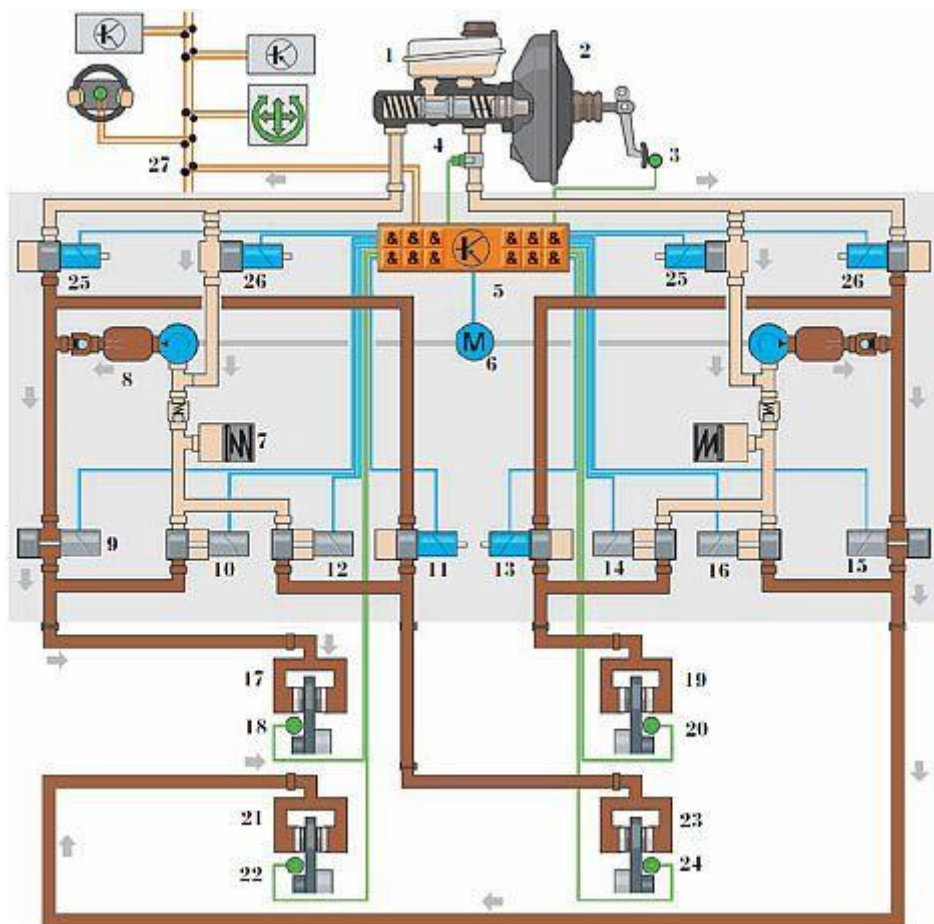


Рисунок – 6.19 Схема системи курсової стійкості ESP:

1-компенсаційний бачок; 2-вакуумний підсилювач гальм; 3- давач положення педалі гальм; 4- давач тиску в гальмівній системі; 5-блок управління; 6-насос зворотної подачі; 7-акумулятор тиску; 8-демпфуюча камера; 9-впускний клапан переднього лівого гальмівного механізму; 10-випускний клапан приводу переднього лівого гальмівного механізму; 11-впускний клапан приводу заднього правого гальмівного механізму; 12-випускний клапан приводу заднього правого гальмівного механізму; 13-впускний клапан приводу переднього правого гальмівного механізму; 14-випускний клапан приводу переднього правого гальмівного механізму; 15-впускний клапан приводу заднього лівого гальмівного механізму;

16-випускний клапан приводу заднього лівого гальмівного механізму;  
17-передній лівий гальмівний циліндр; 18- давач частоти обертання переднього лівого колеса; 19-передній правий гальмівний циліндр;  
20- давач частоти обертання переднього правого колеса; 21-задній лівий гальмівний циліндр; 22- давач частоти обертання заднього лівого колеса;  
23-задній правий гальмівний циліндр; 24- давач частоти обертання заднього правого колеса; 25-перемикаючий клапан; 26-клапан високого тиску;  
27-шина обміну даними.

Вхідні датчики фіксують параметри автомобіля і перетворюють їх в електричні сигнали. За допомогою давачів система динамічної стабілізації оцінює дії водія і параметри руху автомобіля.

Блок управління системи ESP приймає сигнали від датчиків і формує керуючі впливи на виконавчі пристрої підконтрольних систем активної безпеки:

- впускні і випускні клапани системи ABS;
- перемикаючі клапани високого тиску системи ASR;
- контрольні лампи системи ESP, системи ABS, гальмівної системи.

У своїй роботі блок управління ESP взаємодіє з блоком управління системи управління двигуном і блоком управління автоматичної коробки передач.

Для роботи системи динамічної стабілізації використовується гідравлічний блок системи ABS, ASR зі всіма елементами.

#### *Принцип роботи системи курсової стійкості*

Визначення настання аварійної ситуації здійснюється шляхом порівняння дій водія та параметрів руху автомобіля. У разі, коли дії водія (бажані параметри руху) відрізняються від фактичних параметрів руху автомобіля, система ESP розпізнає ситуацію як неконтрольовану і включається в роботу.

Стабілізація руху автомобіля за допомогою системи курсової стійкості може досягатися кількома способами:



- підгальмовуванням певних коліс;
- зміною обертового моменту двигуна;
- зміною кута повороту передніх коліс (за наявності системи активного рульового управління);
- зміною ступеня демпфування амортизаторів (за наявності адаптивної підвіски).

Пригальмовування коліс відбувається шляхом включення в роботу відповідних систем активної безпеки. Робота при цьому має циклічний характер: збільшення тиску, утримання тиску, скидання тиску.

Зміна крутного моменту двигуна в системі ESP може здійснюватися кількома шляхами:

- зміною положення дросельної заслінки;
- пропуском уприскування палива;
- пропуском імпульсів запалювання;
- зміною кута випередження кута запалювання;
- скасуванням перемикання передачі в АКПП;
- перерозподілом крутного моменту між осями (за наявності повного приводу).

Вперше така система була застосована на автомобілях відомого німецького автовиробника BMW на моделі 7-ї серії. Це система контролю стійкості, яка може зменшувати потужності двигуна, поки автомобіль зможе рушити з місця, або продовжити розгін, без провертання коліс. Це відбувається незалежно від того, як сильно водій натискає на педаль акселератора. Якщо зниження потужності двигуна не достатньо, ведучі колеса окремо пригальмовуються, поки колеса не отримають оптимального зчеплення з дорогою. Процес гальмування керується системою антиблокування гальм ABS.

При розробці системи було поставлено два завдання:

1. Стабільна керованість повинна бути забезпечена постійно, як при русі по прямій, так і при поворотах, не залежно від положення педалі акселератора.

2. Зчеплення коліс з дорогою має бути оптимально використано, особливо при попаданні на ділянки з великою різницею коефіцієнтів зчеплення правих та лівих коліс автомобіля. Інтелектуальна система управління запобігає занесенню автомобіля при розгоні на нетвердих або слизьких поверхнях, забезпечуючи таким чином курсову стійкість автомобіля.

Якщо колесо починає провертатися, вмикається гальмо або відбувається втручання в систему управління двигуном. Заслінка дроселя відкривається якраз на стільки, щоб забезпечити керований прямолінійний рух, навіть якщо акселератор натиснутий максимально.

Перший ступінь впливу системи – це застосування гальм. Від 0 до 40 км/год підвищене гальмівне зусилля застосовується до колесо, яке починає провертатися. Від 40 до 100 км/год застосовується зменшене зусилля, щоб уникнути перегріву гальм і зробити роботу системи більш плавною. Після 100 км/год гальма не застосовуються, тобто перший ступінь не активується. При включенні другого ступеня, система ASC+T може змінити кут дросельної заслінки і змінити кут запалювання, впливаючи на систему управління двигуном, знижуючи потужність до 50%.

Система контролю крутного моменту двигуна запобігає блокуванню ведучих коліс, якщо водій різко знімає ногу з педалі акселератора. Система може бути відключена за необхідності.

Система ASC+T має такі переваги:

- оптимальна безпека при русі на слизькому покритті;
- відсутність блокування коліс, якщо відбувається різке скидання швидкості на слизькій поверхні.

При деяких умовах, наприклад, при русі по піску або пухкому снігу, прокручування коліс допомагає руху автомобіля, тому систему в таких умовах

можна тимчасово вимкнути. При вимкненні ASC+T система ABS залишається увімкненою.

Ще одним відомим виробником, яким розроблена система курсової стійкості є Volvo – **DSTC (Dynamic Stability and Traction Control)** (система контролю динамічної стійкості та управління тяговим зусиллям)

У порівнянні з STC, DSTC являє собою сучаснішу систему контролю стійкості. DSTC забезпечує правильну реакцію автомобіля на команди водія, повертаючи машину на запланований курс. Давачі відстежують кілька параметрів, таких як обертання всіх коліс, обертання кермового колеса (кут повороту) і курсову поведінку автомобіля.

Сигнали аналізуються процесором DSTC і у разі відхилення від звичайних значень, як наприклад, при початковому бічному зміщенні задніх коліс, застосовується гальмування одного або декількох коліс, що повертає автомобіль на правильну траєкторію. За необхідності тягове зусилля двигуна також буде знижено, як і у випадку з STC.

Основний блок системи DSTC складається з датчиків, які реєструють такі параметри:

- швидкість кожного колеса (датчик ABS);
- обертання рульового колеса (використовуючи оптичний датчик на кермовій колонці);
- кут зсуву щодо руху керма (вимірюється гіродатчиком, розташованим в центральній частині автомобіля);
- відцентрову силу;

Оскільки ця система керує гальмами, автомобіль з системою DSTC (рис. 6.20) оснащується спареними датчиками (визначення кута відхилення від курсу і відцентрову силу). Системою DSTC оснащуються великогабаритні моделі Volvo - S80, V70, Cross Country і S60.

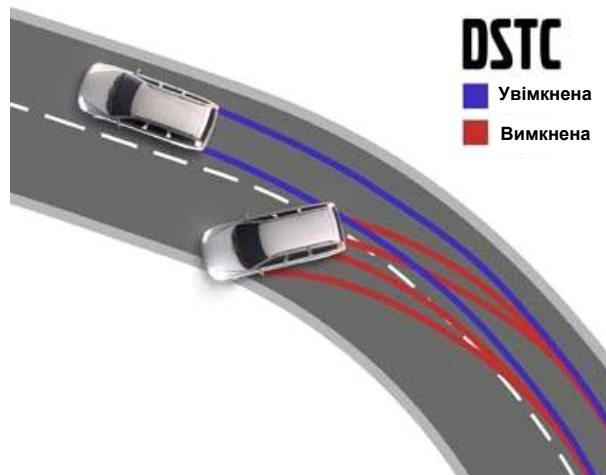


Рисунок – 6.20 Робота системи курсової стійкості

Не лишається осторонь і відомий виробник автомобільної електроніки Continental Teves який розробив власну систему **ESC (Electronic Stability Control)** (електронний контроль стійкості), яка також є активною системою безпеки. Вона визначає нестабільні умови керування на самому початку і застосовує автоматичні, коригувальні дії. Використання активного збільшення стабілізуючих гальмівних сил, ESC допомагає водієві подолати критичні ситуації і залишити свій транспортний засіб під контролем. Ця система вже стала стандартним обладнанням багатьох марок автомобілів. Для прикладу, тільки в 2003 році цією системою було обладнано 3126000 одиниць автомобілів.

В даний час розвинулась технологія ESC II, як логічне продовження попередньої ESC. Вона відкриває нові можливості в динаміці і у стабільності автомобіля шляхом введення активної функції рульового керування (ASC).

ESC II працює на основі датчиків, що вже використовуються в ESC, але пропонує поєднану роботу перевірених ABS, EBD, TCS і АУС функції:

- привод керма для поліпшення відгуку автомобіля;
- втручання ESC в режим роботи керма, гальм і системи управління двигуном, а також додаткове розширення для управління активною підвіскою;
- зниження гальмівного шляху і рульового зусилля на дорогах з різним рівнем зчеплення;
- автоматична компенсація навантаження ;

- оптимізований контроль стабільності і перекидання причепа.

В ESC II використана система, яка дає змогу узгоджувати роботу з електронними гальмівними системи - МК60Е або МК25Е. Підтримуючи інтерфейс системи кермового управління (додатково з електронними системами підвіски автомобіля) ESC II може інтегруватись до багатьох бортових систем наступного покоління автомобілів.

Найбільш розповсюдженою системою, що використовується для стабілізації руху транспортного засобу, є ESP (**Electronic Stability Programm**) (рис. 6.21).

Система ESP була створена в 1995 році, але широкого розповсюдження вона набула лише через два роки, коли дебютував перший компактний Mercedes-Benz А-класу. При його проектуванні були допущені серйозні помилки, які призвели до того, що нова модель мала схильність до перекидання навіть на малих швидкостях при виконанні маневрів типу «перестроювання». Ця задача була вирішена значною мірою завдяки встановленню на автомобілі Mercedes-Benz А-класу з лютого 1998 року відповідним чином налаштованої системи ESP.

Головний контролер ESP - це пара мікропроцесорів, кожний з яких має по 56 Кбайт пам'яті. Система дає змогу приймати і обробляти значення, що передаються датчиками швидкості обертання коліс з 20-мілісекундним інтервалом. Крім А-класу, система ESP є стандартним обладнанням для Mercedes S-класу, Е-класу та інших. На автомобілях фірми Daimler Chrysler застосовуються системи ESP від фірми Bosch. Системи ESP виробництва Bosch використовують також фірми BMW, Volkswagen, Audi, Porsche та інші.

ESP починає діяти в небезпечних ситуаціях, коли можлива або вже відбулася втрата керованості автомобілем, шляхом пригальмовування окремих коліс для стабілізації руху. Вона вступає в роботу, коли через велику швидкість при проходженні правого повороту передні колеса зносять із заданої траєкторії у напрямі дії сил інерції, тобто по радіусу більшому, ніж радіус повороту. ESP в цьому випадку пригальмовує заднє колесо, що знаходиться на внутрішньому

радіусі повороту, надаючи автомобілю великої обертовості і скеровуючи його в поворот. Одночасно з пригальмовуванням коліс ESP знижує обороти двигуна. Якщо при проходженні повороту відбувається занесення задньої частини автомобіля, ESP активізує гальмо лівого переднього колеса, що знаходиться на зовнішньому радіусі повороту. Таким чином, з'являється момент сили, спрямовуючий у сторону повороту, що виключає бічний занос. Коли ковзають всі чотири колеса, ESP самостійно вирішує, гальмівні механізми яких коліс повинні вступити в роботу. Час реакції ESP - 20 мілісекунд. Працює система на будь-яких швидкостях і в будь-яких режимах руху.

Ця система поки є найбільш ефективною системою безпеки. Вона здатна компенсувати помилки водія, нейтралізуючи і виключаючи занесення, коли контроль над автомобілем вже втрачений (рси. 6.22).

Безумовно, ESP високоефективна система. Однак, насправді її можливості обмежені. Причиною цього є закони фізики, змінити які електроніка не в силах. Тому якщо радіус повороту дуже малий або швидкість в повороті перевищує розумні межі, навіть найдосконаліша програма стабілізації руху не допоможе.

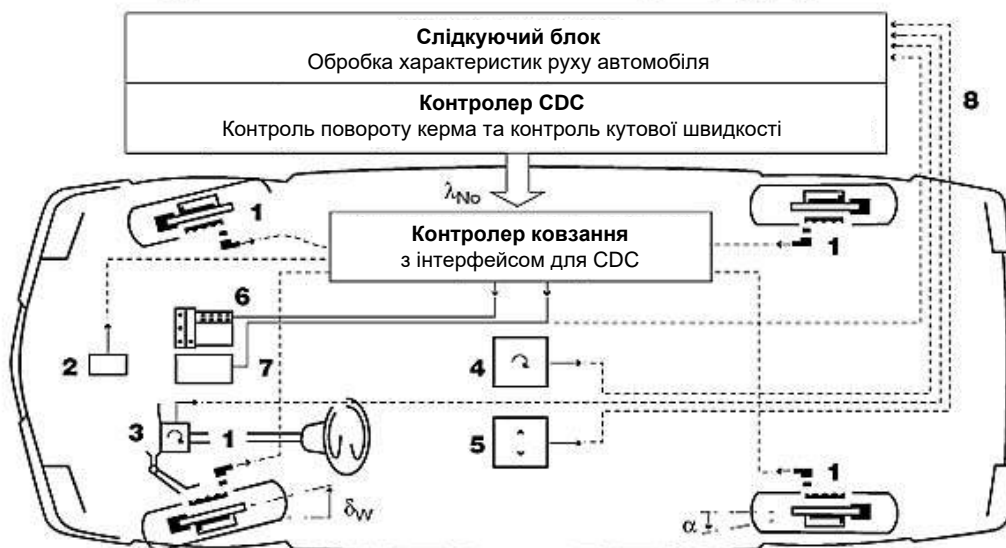


Рисунок – 6.21 Розташування елементів ESP

Де 1 – давач швидкості обертання коліс; 2 – давач тиску в гальмівній системі;

3 – датчик положення керма; 4 – датчик кутової швидкості 5 – датчик поперечного прискорення; 6 – модулятор тиску; 7 – блок керування роботою двигуна; 8 – сигнали датчиків для CDC;  $\alpha$  – кут ковзання шини;  $\delta_w$  – кут повороту переднього колеса;  $\lambda_{N0}$  – номінальне ковзання шини

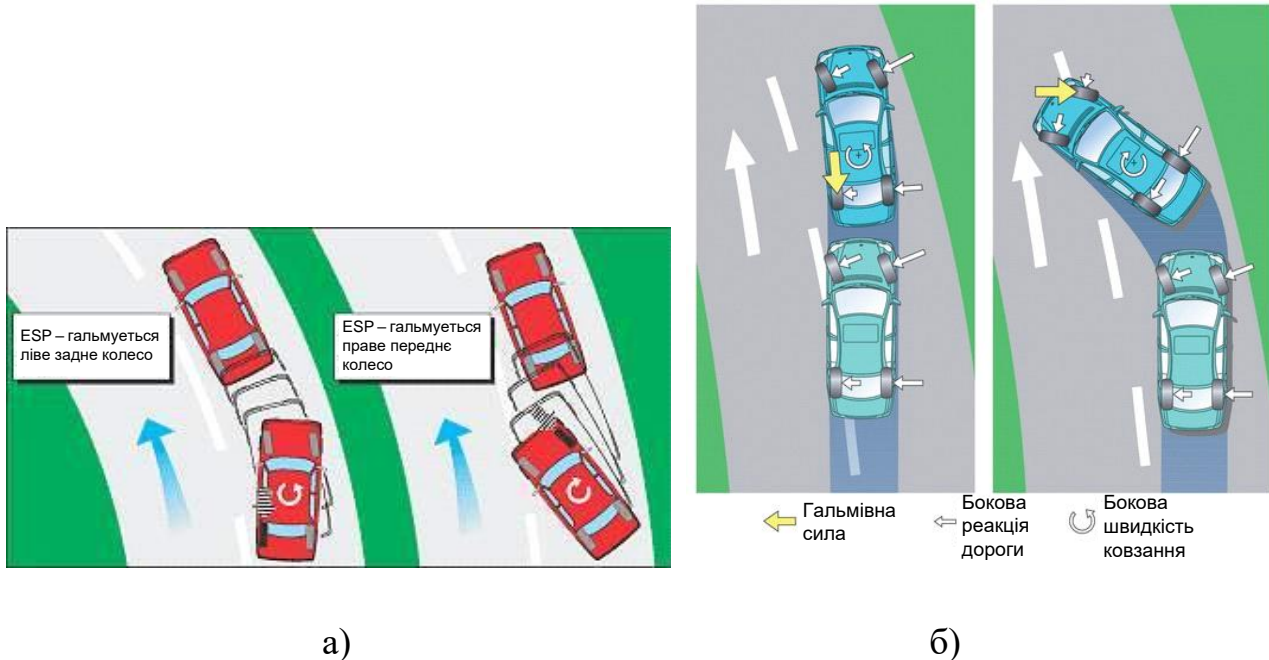


Рисунок – 6.22 Схема роботи ESP: а) в поворот автомобіль входить зі зносом. Виявляючи це, система пригальмовує ліве заднє колесо, стабілізуючи рух машини, б) в повороті автомобіль заносить.

Стабілізація здійснюється завдяки прикладанню додаткової гальмівної сили до правого переднього колеса. На автомобілях марки Honda встановлюється система власної розробки - **VSA (Vehicle Stability Assist)** - система курсової стабілізації автомобіля.

Ця інтелектуальна електроніка включає ABS і антибуксувальну систему. Також вона регулює тягу і керує дросельною заслінкою.

Блок електронного управління VSA (рис. 6.23) використовує інформацію від датчиків своїх підсистем, які з періодичністю 25 разів на секунду відстежують роботу мотора і трансмісії, швидкість обертання кожного з коліс, тиск в гальмівній системі, кут повороту керма, поперечне прискорення. По куту повороту керма, по напрямку коліс, система VSA оцінює, куди має намір

рухатися водій. Проаналізувавши дані, система управління фіксує аварійно-небезпечну ситуацію, визначаючи її по відповідності руху автомобіля діям водія, а також, розраховує і подає виконавчим механізмам команду для пригальмовування певного колеса з визначеним зусиллям. Якщо необхідно обмежити швидкість або зменшити потужність двигуна, процесор VSA, що має зв'язок з блоком електронного управління двигуном, коригує потужність і кількість обертів колінчастого вала.

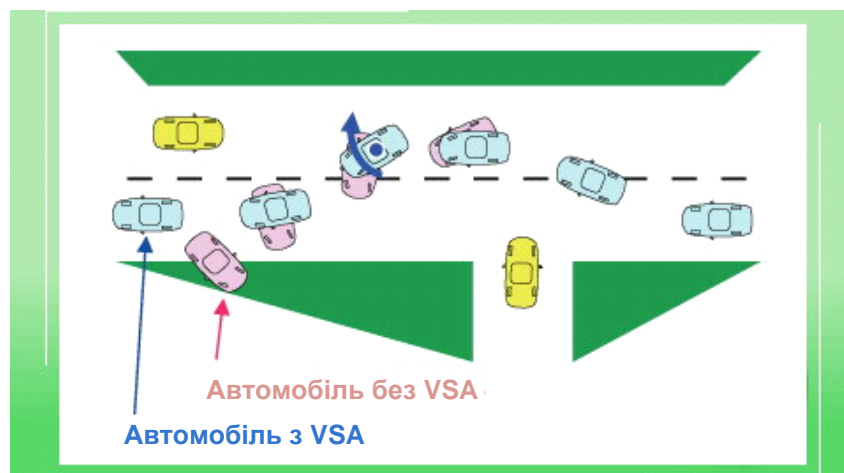


Рисунок – 6.23 Траєкторія руху автомобіля обладнаного VSA

У конструкції системи курсової стійкості можуть бути реалізовані додаткові функції системи, а саме:

- гідравлічний підсилювач гальм;
- система запобігання перекиданню;
- система запобігання зіткненню;
- система стабілізації автопотяга;
- система підвищення ефективності гальм при нагріванні;
- система видалення вологи з гальмівних дисків;

Усі згадані функції, не мають своїх конструктивних елементів, а є програмним розширенням системи ESP.

**Система запобігання перекиданню ROP (Roll Over Prevention)** стабілізує рух автомобіля при загрозі перекидання. Запобігання перекиданню



досягається завдяки зменшенню поперечного прискорення шляхом пригальмовування передніх коліс і зниження крутного моменту двигуна. Додатковий тиск в гальмівній системі створюється за допомогою активного підсилювача гальм.

**Система запобігання зіткненню (Braking Guard)** може бути реалізована в автомобілі, який оснащений адаптивним круїз-контролем. Система запобігає зіткненню за допомогою візуальних і звукових сигналів, а в критичній ситуації - шляхом збільшення тиску в гальмівній системі (автоматичного включення насоса зворотної подачі).

**Система стабілізації автопоїзда** може бути реалізована в автомобілі, обладнаному тягово-зчіпним пристроєм. Система запобігає розгойдуванню причепа при русі автомобіля, яке досягається шляхом гальмування коліс або зниження крутного моменту.

**Система підвищення ефективності гальм при нагріванні FBS (Fading Brake Support)**, інше найменування - Over Boost запобігає недостатньому зчепленню гальмівних колодок з гальмівними дисками, що виникає при нагріванні, шляхом додаткового збільшення тиску в гальмівному приводі.

**Система видалення вологи з гальмівних дисків** активується на швидкості понад 50 км/год при увімкнених склоочисниках. Принцип роботи системи полягає в короткочасному підвищенні тиску в гальмівному контурі передніх коліс, завдяки чому гальмівні колодки притискаються до дисків і відбувається випаровування вологи.

Залежно від виробника розрізняють такі системи курсової стійкості:

- система ESP (Electronic Stability Programme) на більшості автомобілів в Європі і Америці;
- система ESC (Electronic Stability Control) на автомобілях Honda, Kia, Hyundai;
- система DSC (Dynamic Stability Control) на автомобілях BMW, Jaguar, Rover;
- система DTSC (Dynamic Stability Traction Control) на автомобілях Volvo;
- система VSA (Vehicle Stability Assist) на автомобілях Honda, Acura;

- система VSC (Vehicle Stability Control) на автомобілях Toyota;
- система VDC (Vehicle Dynamic Control) на автомобілях Infiniti, Nissan, Subaru;
- система VDIM (Vehicle Dynamics Integrated Management) на автомобілях Toyota.

### *Антибуксувальна система*

Антибуксувальна система ASR (інше найменування – протибуксувальна система) призначена для запобігання прокручуванню ведучих коліс.

Антибуксувальна система побудована на конструктивній основі антиблокувальної системи гальм. В системі ASR (рис. 6.24) реалізовані дві функції:

- електронне блокування диференціала;
- управління крутним моментом двигуна.

Для реалізації антибуксувальної функцій в системі використовується насос зворотної подачі і додаткові електромагнітні клапани на кожне з ведучих коліс в гідравлічному блоці ABS:

- перемикаючий клапан;
- клапан високого тиску.

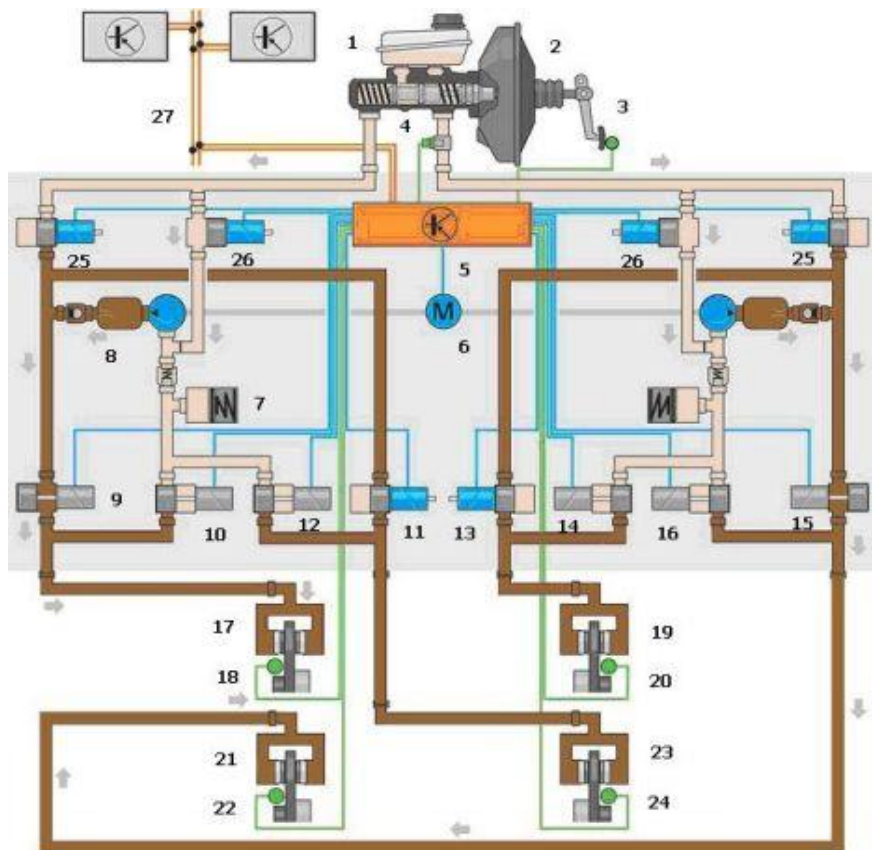


Рисунок – 6.24 Схема антибуксувальної системи ASR

1-компенсаційний бачок; 2-вакуумний підсилювач гальм; 3- давач положення педалі гальма; 4- давач тиску в гальмівній системі; 5-блок управління; 6-насос зворотної подачі; 7-акумулятор тиску; 8-демпфуюча камера; 9-впускний клапан переднього лівого гальмівного механізму; 10-випускний клапан привода переднього лівого гальмівного механізму; 11-впускний клапан привода заднього правого гальмівного механізму; 12-випускний клапан привода заднього правого гальмівного механізму; 13-впускний клапан привода переднього правого гальмівного механізму; 14-випускний клапан привода переднього правого гальмівного механізму; 15-впускний клапан привода заднього лівого гальмівного механізму; 16-випускний клапан привода заднього лівого гальмівного механізму; 17-передній лівий гальмівний циліндр; 18- давач частоти обертання переднього лівого колеса; 19-передній правий гальмівний циліндр; 20- давач частоти обертання переднього правого колеса; 21-задній лівий гальмівний

циліндр; 22- давач частоти обертання заднього лівого колеса; 23-задній правий гальмівний циліндр; 24- давач частоти обертання заднього правого колеса; 25-перемикаючий клапан; 26-клапан високого тиску; 27-шина обміну даними.

Управління системою ASR здійснюється завдяки відповідному програмному забезпеченню, додатково включеному в блок управління ABS.

У своїй роботі блок управління ABS-ASR взаємодіє з блоком управління системи управління двигуном.

#### *Принцип роботи антибуксувальної системи*

Система ASR запобігає прокручування коліс у всьому діапазоні швидкостей автомобіля:

- при низьких швидкостях руху (від 0 до 80 км/год) система забезпечує передачу крутного моменту шляхом пригальмовування ведучих коліс;
- при швидкості вище 80 км / год зусилля регулюються завдяки зменшенню передачі крутного моменту від двигуна.

На підставі сигналів датчиків кутових швидкостей коліс блок управління ABS-ASR визначає наступні характеристики:

- кутове прискорення ведучих коліс;
- швидкість руху автомобіля (на підставі кутової швидкості ведених коліс);
- характер руху автомобіля - прямолінійний або криволінійний (на підставі порівняння кутових швидкостей ведених коліс);
- величину прокручування ведучих коліс (на підставі різниці кутових швидкостей ведучих і ведених коліс).

Залежно від поточного значення експлуатаційних характеристик здійснюється управління гальмівним зусиллям або управління крутним моментом двигуна.

Управління гальмівним зусиллям здійснюється циклічно. Робочий цикл має три фази - збільшення тиску, утримання тиску та скидання тиску. Збільшення тиску гальмівної рідини в контурі забезпечує гальмування ведучого колеса. Воно здійснюється шляхом включення насоса зворотної подачі, закриття перемикаючого клапана і відкриття клапана високого тиску. Утримання тиску досягається завдяки відключенню насоса зворотної подачі. Скидання тиску здійснюється після закінчення буксування при відкритих впускному і перемикаючому клапанах. За необхідності цикл роботи повторюється.

Управління крутним моментом двигуна здійснюється у взаємодії з системою управління двигуном. На підставі інформації про прокручування ведучих коліс, отриманої від давачів кутової швидкості коліс, і фактичній величині крутного моменту, отриманого від блока управління двигуном, блок управління антибуксувальної системи обчислює величину необхідного крутного моменту. Дана інформація передається в блок керування системи керування двигуном і реалізується за допомогою таких дій:

- зміни положення дросельної заслінки;
- пропуску впорскувань палива в системі уприскування;
- пропуску імпульсів запалювання або зміни кута випередження запалювання в системі запалювання;
- скасування перемикання передачі в автомобілях з автоматичною коробкою передач.

При спрацьовуванні антибуксувальної системи спалахує контрольна лампа на панелі приладів. Система має можливість відключення.

Для прикладу, відомий німецький автовиробник Audi розробив систему що запобігає прокручуванню коліс на початку руху - **ASR (Anti-Slip Regulation)** (протибуксувальна система).

Працює в парі з АБС. Як тільки колісні давачі АБС фіксують прокручування ведучих коліс, антибуксувальна система автоматично зменшує тягове зусилля (оберти) двигуна, а в деяких випадках пригальмовує ті ведучі колеса, які починають прокручуватись (від одного до всіх чотирьох). У такому

режимі електроніка забезпечує максимально можливий розгін автомобіля при конкретних умовах дорожнього покриття і зчеплення з ним.

Автомобілі, оснащені системою ASR, здатні плавно рушати навіть на льоду або гравієвому покритті. Автомобілі з системою ASR також більш стійкі в поворотах при русі з незначним прискоренням.

У певному сенсі дія антибуксувальної системи – це обернена система АБС щодо дії колеса.

Ще одна розробка, від того ж виробника – це електронне блокування диференціалу -**EDS (Elektronische Differential Spree)**.

Система EDS запобігає прокручуванню одного або обох ведучих коліс при рушанні з місця, прискоренні або русі угору. EDS постійно отримує та аналізує дані про швидкість обертання коліс від давачів АБС. При появі прокручуванні одного з ведучих коліс система автоматично блокує диференціал, перерозподіляючи передачу більшого крутного моменту на колесо, що має хороше зчеплення з дорогою. Перерозподіл тягового зусилля між колесами може відбуватися в інтервалі від 0 до 100%. Працює система при швидкостях від 0 до 40 км /год.

Аналогічну систему сконструювали японські інженери виробника автотранспорту Mitsubishi - **МАТС (Mitsubishi Active Traction Control)** (електронна система підтримування тягового зусилля)

Електронна система виконує блокування міжколісних диференціалів, вступаючи в роботу на бездоріжжі, в ожеледь або на м'якому ґрунті, використовуючи робочу гальмівну систему і пригальмовуючи колеса, що прокручуються.

Залежно від виробника антибуксувальна система має такі торговельні найменування:

- система ASR (Automatic Slip Regulation, Acceleration Slip Regulation) на автомобілях Mercedes, Volkswagen, Audi та ін;
- система ASC (Anti-Slip Control) на автомобілях BMW;
- система А-TRAC (Active Traction Control) на автомобілях Toyota;

- система DSA (Dynamic Safety) на автомобілях Opel;
- система DTC (Dynamic Traction Control) на автомобілях BMW;
- система ETC (Electronic Traction Control) на автомобілях Range Rover;
- система ETS (Electronic Traction System) на автомобілях Mercedes;
- система STC (System Traction Control) на автомобілях Volvo;
- система TCS (Traction Control System) на автомобілях Honda;
- система TRC (Traking Control) на автомобілях Toyota.

### *Система активного розподілу крутного моменту*

Система активного розподілу крутного моменту **ATTS (Active Torque Transfer System)**, що була розроблена та використовується виробником Honda, спочатку використовувалась в міжосьових диференціалах повноприводних автомобілів для розподілу крутного моменту між ведучими мостами, а тепер пристосувала його для легкового автомобіля з приводом на одну вісь.

Система працює таким чином. Уявімо собі передньоприводний автомобіль, який проходить з тягою крутий поворот. Що відбувається з передніми колесами в зоні контакту з дорогою? Головними тут є дві сили - "тягова", яка прискорює машину, і бічна, яка змушує машину повертати. Обидві вони "спираються" на силу тертя, що виникає в зоні контакту коліс з дорожнім полотном, але вона є не безмежною. Тепер придивимося до внутрішнього, відношено до центра повороту колеса. Через дію відцентрової сили колесо виявляється розвантаженим, тобто в гірших умовах стосовно зчеплення з дорогою. Відповідно, зменшиться й та сумарна сила, яку може сприйняти колесо, і тому воно менше буде здатне прискорювати і повертати автомобіль. Тому необхідно частину тяги перекинути на зовнішнє по відношенню до центра повороту колесо. Адже саме воно при маневрі виявляється більш навантаженим і тому може сприйняти більше сил і бічних, і поздовжніх.

Збільшення крутного моменту на зовнішньому колесі (рис. 64) забезпечує додатковий момент, який прагне "затягнути" автомобіль в поворот. Тут доречна

аналогія з весловим човном: адже на ньому можна гребти обома веслами і управляти траєкторією за допомогою керма на кормі, а можна одним веслом загібати сильніше і човен поверне в протилежну сторону (рис. 6.25).

Задачу перерозподілу крутного моменту виконує механізм з «планетарними» передачами і двома багатодисковими пакетами фрикціонів мокрого типу, як в гідромеханічних коробках передач. Змонтовано виконавчий механізм системи ATTS після диференціала коробки передач і вміщено в невеликому циліндричному корпусі між піввісями передніх коліс.

Коли автомобіль їде прямо, фрикціони розімкнуті і планетарні шестерні системи обертаються вхолосту - ніщо не заважає звичайному диференціалу виконувати свою роботу, порівну розподіляючи крутний момент, що йде від двигуна між ведучими колесами.

При повороті керма, по команді від блока управління один з фрикціонів за допомогою гідравлічного виконавчого пристрою частково або повністю блокується. При цьому на одне з коліс перекидається до 80 відсотків крутного моменту з протилежного колеса.

Роботою системи керує електронний блок, що аналізує сигнали від декількох давачів. В його процесор завжди надходить інформація про швидкість з якою рухається автомобіль, яка тягова сила двигуна (тобто його обороти і ступінь відкриття дросельної заслінки), на який кут повернене кермо. А щоб врахувати діючі на автомобіль бічні сили, електроніка системи ATTS користується інформацією ще від двох давачів. Один оцінює поперечне прискорення, а другий відстежує кутову швидкість обертання автомобіля навколо вертикальної осі.

В результаті система ATTS повинна допомогти автомобілю краще тримати дорогу і зменшити властиву передньоприводним автомобілям недостатню поворотність, коли машина прагне вийти з траєкторії повороту, змушуючи водія компенсувати це додатковим поворотом керма. Як заявляє виробник, автомобіль з системою ATTS завжди демонструє нейтральну поворотність, тобто краще слухається керма і точніше описує задану



траєкторію маневру, вимагаючи на віражах на 10-30% меншого кута повороту керма, ніж зазвичай.

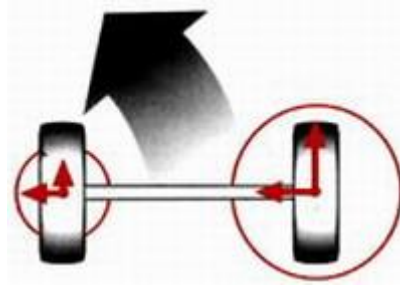


Рисунок – 6.25 Тягові зусилля на навантаженому та розвантаженому ведучих колесах.

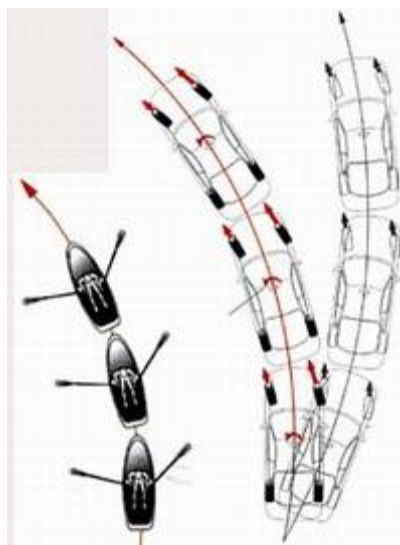


Рисунок – 6.26 Порівняння принципу дії з весловим човном

Один з різновидів антибуксувальних систем для передньоприводних автомобілів розробила компанія Volvo – **DSA (Dynamic Stability Assistance)** (система підтримки динамічної стійкості), **TRACS (Traction Control System)** (система керування тяговим зусиллям).

DSA - це система контролю обертання колеса, розроблена для компактних моделей Volvo S40 і V40. DSA відстежує випадки, коли будь-яке з ведучих передніх коліс починає обертатися швидше від задніх коліс. Якщо це відбувається, система негайно (протягом 25 мілісекунд) зменшує крутний момент двигуна. Це дозволяє водієві швидко прискорюватися, навіть на слизькому покритті, без втрати зчеплення з дорогою, стійкості і керованості. Система DSA задіяна у всьому діапазоні швидкостей автомобіля: від найменшої

до максимальної. Автомобілі можуть обладнуватися системою DSA в якості заводського варіанта (за винятком автомобілів з дизельними двигунами або двигунами з робочим об'ємом 1,8 л).

**TRACS** - це допоміжна електронна система, що полегшує рушання з місця, яка прийшла на зміну застарілому механічному диференціалу і диференціальним гальмам. Система використовує датчі для відстеження випадків прокручування якогось із коліс, застосовує гальмування для колеса що прокручується, і збільшує тягове зусилля на іншому колесі тієї ж пари коліс. Це полегшує рушання на слизькому покритті і керування на швидкостях до 40 км/год.

#### **6.1.4. Підвіска**

Німецький виробник автотранспорту та автомобільної електроніки розробив кілька систем, здатних підвищити комфорт та безпеку пересування автомобілем.

Розумна система регулювання підвіски **Dynamic Drive** - (активна підвіска) (рис. 6.27) входить до складу опційних пакетів устаткування для ходової частини Adaptive Drive і спортивного пакету, забезпечуючи максимальний комфорт, маневреність і курсову стійкість автомобіля. На поворотах або при різкій зміні напрямку руху система Dynamic Drive мінімізує крен автомобіля і підвищує його стійкість. Система практично повністю ліквідує крен і розгойдування кузова автомобіля, дозволяючи пасажирам відчувати себе комфортніше.

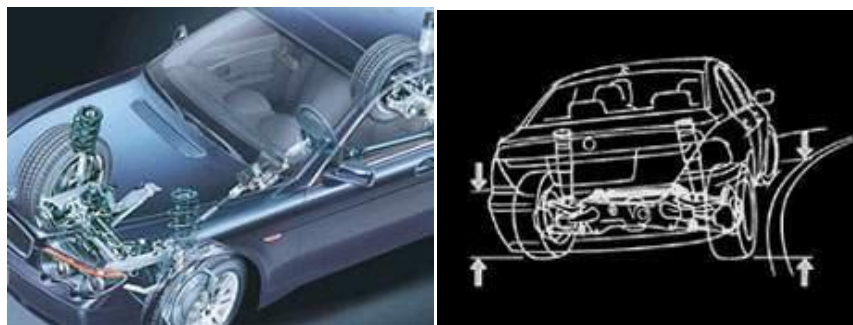


Рисунок – 6.27 Активна підвіска BMW

Ще одна система називається **EDC** - (електронна система регулювання рідини амортизаторів) (рис. 6.28), яка забезпечує не тільки максимально комфортне водіння, але і високу безпеку. Система контролює вібрації кузова незалежно від завантаженості автомобіля. Всі показники, які впливають на поведінку на дорозі, постійно відстежуються датчиками. Після обробки даних мікропроцесор формує команду демпфера. Електромагнітні клапани регулюють зусилля демпферів для управління рухом. В результаті значно скорочується опускання передньої частини автомобіля при гальмуванні або, наприклад, струс корпусу на нерівностях, в поворотах або при розгоні. Більш того, достатньо одного натиснення кнопки, щоб вибрати програму Sports, відрегулювати підвіску, зробити демпфери більш жорсткими або, навпаки, більш динамічними.

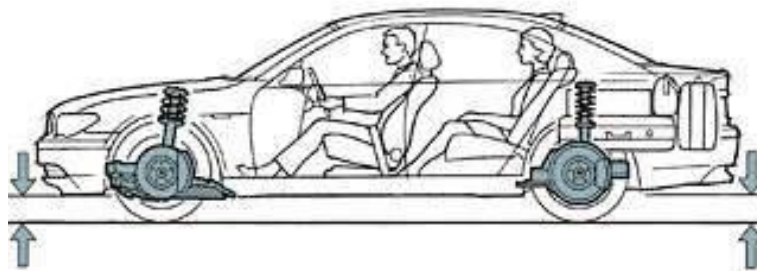


Рисунок – 6.28 система регулювання рідини амортизаторів

### **6.1.5. Інші активні системи безпеки**

#### ***Круїз-контроль***

**ACC - Adaptive Cruise Control** (адаптивний круїз-контроль) - це система підтримки постійної швидкості руху і, одночасно, безпечної дистанції до автомобіля, що їде попереду. Функціонально пристрій працює дуже ефективно, проте виконання його досить просте. Основний елемент активного круїз-контролю - ультразвуковий датчик, встановлений в передньому бампері або за радіаторними ґратками автомобіля. Його принцип роботи аналогічний датчикам

паркувального радару, тільки радіус дії становить декілька сотень метрів, а кут охоплення, навпаки, обмежений кількома градусами. Посилаючи ультразвуковий сигнал (рис. 6.29), давач чекає відповіді. Якщо промінь знайшов перешкоду у вигляді автомобіля, що рухається з меншою швидкістю і повернувся - значить, необхідно знизити швидкість. Як тільки дорога знову звільняється, машина розганяється до заданої швидкості.



Рисунок – 6.29 Адаптивний круїз-контроль: а) ультразвуковий датчик;  
б) індикація роботи системи

Різновиди технологій виконання АСС.

Адаптивна система круїз-контролю може працювати на основі радарів або інфрачервоних сигналів.

*Радіолокаційні технології (ультразвукові).*

Властивості радіолокаційних систем:

- частота хвилі 77 ГГц радар працює у відповідності з імпульсною модуляцією за принципом Доплера для незалежного вимірювання швидкості та відстані;
- фокусування пучка на окремі об'єкти;
- повністю інтегрований електронний дизайн (ВЧ-схем в радіолокаційному компоненті);

*Інфрачервона технологія*

Системи з використанням датчиків з випромінюванням інфрачервоних променів вже представлена на ринку з 2000 року і використовується на транспортних засобах середнього класу. Не зважаючи на особливості система

здатна визначити фактичну видимість і пропонувати швидкість руху, яка підходить для погодніх умов. Системи здатні виконувати керування автомобілем до моменту зупинки.

Компанія **Siemens VDO** взявши за основу систему ACC розробила її покращену версію під назвою **LIDAR (Light Detection and Ranging)** (рис. 6.30) навчивши його розпізнавати стоп-сигнали автомобіля, що їде попереду, а також ефективно працювати в туман, дощ і сніг. Це стало можливим завдяки впровадженню в конструкцію системи ACC давача LIDAR (Light Detection and Ranging). Конструктивно давач LIDAR складається з джерела інфрачервоного випромінювання, фотодіода, що виконує функцію приймача відображених променів невидимого інфрачервоного світла, і електроніки, що обробляє інформацію. Дач безперервно контролює час поширення випромінюваних і відбитих від перешкоди інфрачервоних променів. Маючи в розпорядженні цю інформацію, електроніка обчислює зміну відстані до транспортного засобу. Дач LIDAR також здатний виявляти частинки води (туману, дощу). На підставі чого електроніка робить висновок про погану видимість і приймає рішення про зниження швидкості. Для цього електроніка може зменшувати оберти двигуна і задіяти гальмівні механізми. Удосконалена система також відрізняє транспортні засоби від нерухомих об'єктів.

Алгоритм дій водія такий. Зайнявши бажану смугу руху, він задає швидкість, яку автоматика підтримує в автоматичному режимі. У разі небезпечного зближення з автомобілем, що їде попереду, швидкість автоматично скидається настільки, щоб зберегти безпечний інтервал. Найважливішою особливістю системи є те, що цей інтервал визначається не лише швидкістю, але й погодніми умовами. Якщо LIDAR помітить, що йде дощ або сніг, дистанція буде збільшена.



Рисунок – 6.30 Система LIDAR в роботі

### *Системи контролю прямолінійного руху*

**AFIL** - (система попередження про перетин дорожньої розмітки) (розробник Citroen) (рис. 6.31) починає діяти з швидкості 80 км/год і визначає з допомогою датчиків перетин дорожньої розмітки без включення показника повороту.

Система попередить втомленого або неуважного водія вібрацією в подушці сидіння зі сторони де буде перетин дорожньої розмітки, щоб він зміг вчасно зреагувати.



Рисунок – 6.31 система попередження про перетин дорожньої розмітки



Інший виробник **Continental Teves AG** розробив таку ж систему під назвою **LDW (Lane Departure Warning)** (рис. 6.32). Система, що складається з маленької відеокамери, вмонтованої в дзеркало заднього виду, давача швидкості і звукової сигналізації, буде попереджувати водія, про відхилення автомобіля від заданої траєкторії руху. Відеокамера буде сканувати дорожню розмітку і в разі відхилення від неї з якихось причин, водій почує тривожний звуковий сигнал.

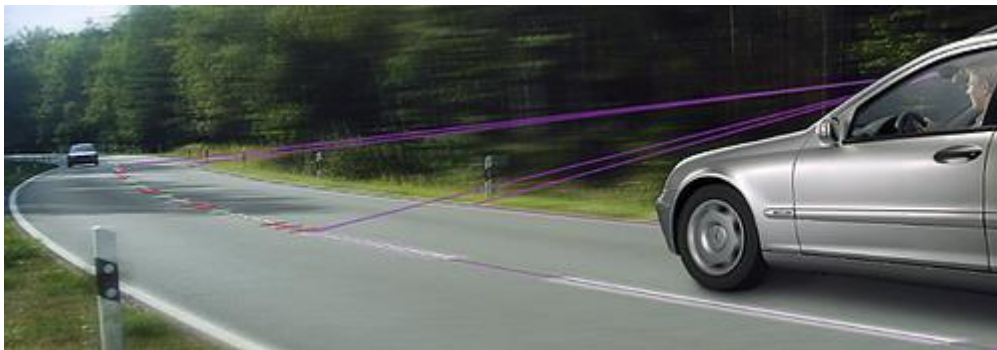


Рисунок – 6.32 Схема функціонування системи **LDW**

### *Система паркування*

**APS - (Acoustic Parking System)** ультразвуковий датчик відстані (рис. 6.33). Пристрій, що дозволяє точно здійснювати парковку, заїжджати в гараж або здійснювати інші маневри при руху в обмежених умовах не ризикуючи вдарити машину.

У задній і передній бампери вмонтовують по два спеціальних датчика, які випромінюють і приймають ультразвукові хвилі і з точністю до сантиметра визначають відстань до близько розташованих перешкод. При виникненні небезпечної близькості до них в автомобілі спрацьовує звуковий і світловий індикатор.

Пристрій має можливість відключення за бажанням водія.



Рисунок – 6.33 Система паркування

Як покращену і модернізовану систему паркування було розроблено систему кругового огляду. Система колового огляду є допоміжною системою активної безпеки. Вона призначена для надання допомоги водієві при виконанні маневрування в обмежених умовах (паралельна парковка, перпендикулярна парковка, рух між рядами, виїзд на «сліпе» перехрестя). Система кругового огляду є підсистемою мультимедійної (інформаційно-розважальної) системи автомобіля. Робота системи заснована на зйомці обстановки навколо автомобіля і виведенні відповідної інформації на інформаційний дисплей.



Рисунок – 6.34 Зображення паркувальної системи

Система кругового огляду є подальшим розвитком оптичної паркувальної системи, побудованої на камері заднього виду. Вперше система



кругового огляду застосована на автомобілях компанії Nissan в 2007 році. В даний час цю систему мають в своєму арсеналі багато провідних автовиробників - Mercedes-Benz, BMW, Volkswagen, Land Rover, Nissan, Toyota.

Ряд систем кругового огляду мають власні назви:

- Around View Monitor, AVM на автомобілях Nissan;
- Surround Camera System на автомобілях Land Rover;
- Area View на автомобілях Volkswagen.

Система кругового огляду встановлюється, в основному, на автомобілях преміум класу. Разом з тим, Nissan і тут випередив усіх, запропонувавши систему AVM в ряді комплектацій бюджетного кросовера Qashqai.

Конструктивно система кругового огляду об'єднує чотири (п'ять у Land Rover) камери з великим кутом огляду, інтегровані по периметру кузова автомобіля. Передня камера (дві передніх камери в Land Rover) встановлена в радіаторних ґратках. Задня камера вбудована в модуль освітлення номерного знака. Дві бокові камери базуються в корпусах зовнішніх дзеркал заднього виду. Всі камери мають високе розширення, що дає змогу передавати зображення з високим ступенем деталізації.

Зображення з камер передається на дисплей мультимедійної системи. Зображення на дисплеї включає обов'язковий панорамний вигляд оточення автомобіля і деталізоване (збільшене) зображення з однієї або декількох камер (ступінь збільшення можна змінювати). На зображення з камери заднього виду виводяться динамічні напрямні лінії, які вказують можливу і рекомендовану траєкторію руху при паркуванні. Залежно від близькості автомобіля до оточуючих об'єктів направляючі можуть змінювати колір від зеленого (безпечного) до червоного (небезпечного).

Система кругового огляду працює при русі автомобіля на невеликій швидкості (до 10 км/год у Nissan, до 18 км/год у Land Rover). При перевищенні заданої швидкості система автоматично вимикається. Конструкцією передбачено два режими роботи - автоматичний і ручний. Автоматичний режим активується при включенні задньої передачі коробки передач. На

дисплей обов'язково виводиться зображення з камери заднього виду. Систему колового огляду можна увімкнути вручну (примусово) і вибрати деталізоване зображення з будь-якої камери.

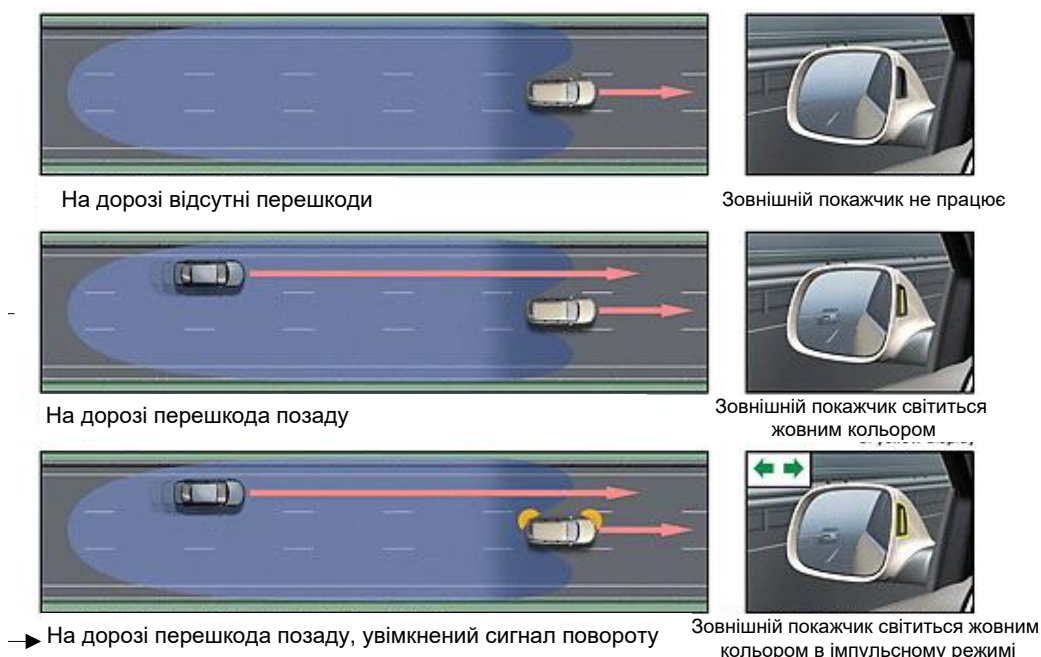
### *Система контролю мертвих зон*

**Audi Side Assist** - система стеження за мертвими зонами (рис. 6.35а) (розробник Audi) попереджає водія, якщо той не помітив перешкоди в дзеркало заднього виду (за необхідності зміни ряду).

Два радарних датчі з частотою радіохвилі 24 ГГц, які розташовані в задньому бампері, контролюють зону поряд і позаду автомобіля, щоб попередити водія (додатково до зображення в дзеркалі заднього виду) про наближення транспортних засобів. Діапазон дальності датчів - до 50 метрів.

Якщо система ідентифікує інший транспортний засіб, вона повідомляє водієві через світло індикатора в зовнішньому дзеркалі (рис. 6.35б). Система дає попередження миготливим світлом, якщо водій активізував покажчик повороту в процесі підготовки до зміни ряду, але не помітив інший транспортний засіб у суміжному ряду.

Side Assist вперше застосована на Ауді Q7.



a)



б)

Рисунок – 6.35 Система контролю мертвих зон: а) схема функціонування; б) зовнішній вигляд

Аналогічну систему **BLIS**, як опцію на деякі моделі, пропонує компанія Volvo, що попереджає водія про транспортні засоби в небезпечній зоні – справа, зліва і безпосередньо позаду автомобіля.

Відмінністю цієї системи від попередньої є те, що BLIS складається з відеокамер, які роблять по 25 кадрів на секунду, встановлених на зовнішніх дзеркала заднього виду і комп'ютера, який розпізнає зображення об'єктів в цих зонах, розміром 3 x 9,5 метрів кожна.

У разі небезпечного зближення система запалює жовтий індикатор (рис. 6.36), який знову ж, на відміну від системи Audi Side Assist знаходиться в салоні - поряд з правим або лівим дзеркалом.

Комплекс відстежує автомобілі, які йдуть на обгін, а також реагує на ті автомобілі, які рухаються повільніше, наприклад, що потрапляють в небезпечну зону при зміні смуги руху.

При цьому система не реагує на статичні об'єкти, які потрапляють в поле зору камер, наприклад, коли водій рухається назад при паркуванні. Камери активуються на швидкості понад 10 кілометрів на годину.

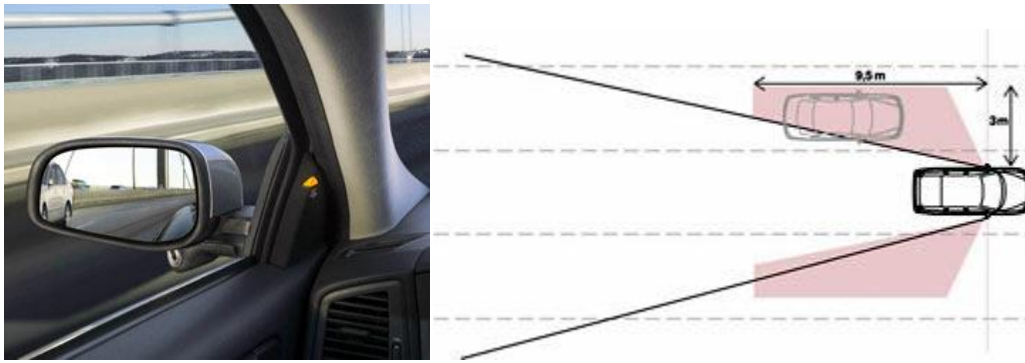


Рисунок – 6.36 Система BLIS: а) зовнішній вигляд; б) схема функціонування

### *Система розпізнавання дорожніх знаків*

**Driver Assistance System (DAS)** система розпізнавання дорожніх знаків (розробник: National Information and Communications Technology Australia (NICTA)) є електронним помічником водія, здатним читати дорожні знаки та стежити за їх дотриманням.

Система DAS (Driver Assistance System) покликана підвищити безпеку руху завдяки суворішому дотримання обмежень.

В основі комплексу - три відеокамери, одна з яких стежить за дорожньою ситуацією, а дві інші - визначають напрям погляду водія (що теж записується в пам'ять комп'ютера).

Програма розпізнавання зображень (рис. 6.37) може виділяти з навколишнього оточення дорожні знаки і розуміти їх. Якщо при наближенні автомобіля до знака обмеження швидкості водій рухається занадто швидко - в салоні лунає сигнал, а якщо водій ігнорує його - комп'ютер записує порушення.

Аналогічно система може зафіксувати момент, коли водій проїхав знак "Стоп" без зупинки.

Її головна перевага - сумісність з наявною дорожньою інфраструктурою.

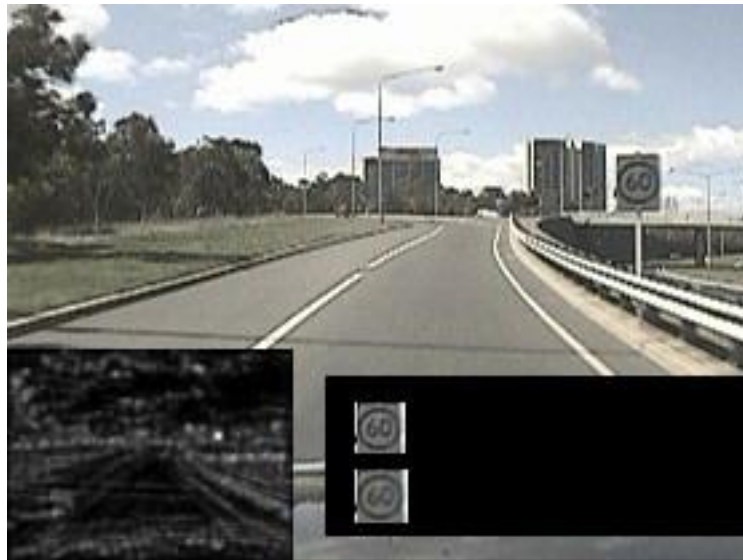


Рисунок – 6.37 Робота системи розпізнання дорожніх знаків

### *Система допомоги при підйомі*

Система допомоги при підйомі призначена для запобігання відкочуванню автомобіля при рушанні вгору (похилій площині). Застосування цієї системи полегшує рушання автомобіля на підйомі, виключаючи використання стоянкового гальма, і підвищує безпеку. Система встановлюється як опція на деякі легкові автомобілі.

Залежно від автовиробника система має такі назви:

- ННС, Hill Hold Control від Volkswagen;
- Hill Holder від Subaru, Fiat;
- НАС, Hill-Start Assist Control від Toyota;
- USS, Uphill Start Support від Nissan.

Система допомоги при підйомі побудована на базі системи динамічної стабілізації і є її програмним розширенням, тому не є самостійною системою.

Принцип роботи системи заснований на уповільненні зниження тиску в гальмівній системі при відпусканні педалі гальма. Алгоритм роботи системи допомоги при підйомі активується за певних умов: автомобіль заведений, педаль гальма натиснута, величина підйому перевищує 5%.

Система працює циклічно. Цикл роботи включає чотири фази:

- створення гальмівного тиску;

- утримання гальмівного тиску;
- зниження гальмівного тиску;
- скидання гальмівного тиску.

*Принцип роботи* (дивись схему системи курсової стійкості).

При гальмуванні на підйомі гальмівна система працює в режимі, при якому впускні і перемикаючі клапани відкриті, а випускні та клапани високого тиску закриті. У результаті в системі створюється гальмівний тиск, який утримує автомобіль на місці.

При відпусканні педалі гальма закриваються перемикаючі клапани, у контурах утримується тиск на колишньому рівні, що запобігає відкочуванню автомобіля назад.

При натисканні на педаль акселератора відбувається поступове відкриття перепускних клапанів, яке забезпечує плавне зниження гальмівного тиску.

При рушанні автомобіля з місця й досягненні достатнього для руху обертового моменту, перемикаючі клапани повністю відкриваються і відбувається скидання тиску в гальмівній системі.

Необхідно відзначити, що система працює завжди на підйом, не залежно від напрямку руху, що актуально для рушання вгору заднім ходом.

### ***Система допомоги при спуску***

Система допомоги при спуску призначена для запобігання прискоренню автомобіля при русі по гірських дорогах. Наявність цієї системи на автомобілі підвищує зручність управління і безпеку. Система допомоги при спуску встановлюється, як правило, на легкові автомобілі підвищеної прохідності.

Залежно від автовиробника система має такі назви:

- HDC, Hill Descent Control від Volkswagen, BMW та ін;
- DAC, Downhill Assist Control від Toyota;
- DDS, Downhill Drive Support від Nissan.

Система допомоги при спуску є програмним розширенням системи курсової стійкості і використовує конструктивні елементи цієї системи, тому по своїй суті є функцією, а не системою.

### *Принцип роботи*

Принцип роботи системи заснований на підтримуванні постійної швидкості при спуску шляхом пригальмовування коліс. Система активується вмиканням відповідної клавіші на приладовій панелі. При цьому алгоритм управління системи спрацьовує за певних умов: автомобіль заведений, педалі акселератора і гальма відпущені, швидкість руху менше 20 км/год, ухил більше 20%.

На підставі сигналів датчиків блок керування включає насос зворотної подачі, відкриває впускні клапани та клапани високого тиску. Впускні і перемикаючі клапани закриті. Завдяки цим діям в гальмівній системі створюється необхідний тиск, який забезпечує зниження швидкості автомобіля до певного значення. Величина підтримуваної системою швидкості залежить від початкової швидкості автомобіля і включеної передачі.

При досягненні автомобілем швидкості потрібного значення, гальмування припиняється. При подальшому прискоренні цикл роботи системи допомоги при спуску повторюється. Таким чином, швидкість руху на спуску підтримується в певному безпечному діапазоні.

Система допомоги при спуску вмикається примусово (повторним натисканням клавіші) або автоматично при натисканні на педаль акселератора або гальма, а також зниження величини ухилу менше 12%.

### *Система нічного бачення*

Система нічного бачення призначена для надання водієві інформації про умови руху в темний час доби (рис. 6.38). Система дає змогу розпізнавати різні перешкоди, учасників дорожнього руху, пішоходів на неосвітленій ділянці дороги, а також подальшу траєкторію траси.



Рисунок – 6.38 Робота системи нічного бачення

Система допомагає зняти навантаження з водія в умовах поганої видимості і тим самим забезпечує підвищення безпеки руху. В даний час система нічного бачення встановлюється як опція на легкові автомобілі преміум класу.

Принцип дії системи нічного бачення заснований на фіксації інфрачервоного (теплого) випромінювання об'єктів спеціальною камерою і його проектуванні на дисплей у вигляді сірого масштабного образу.

Розрізняють два типи систем нічного бачення: активні і пасивні. Активні системи використовують додаткове джерело інфрачервоного світла, встановленого на автомобіль. Вони характеризуються високою роздільною здатністю зображення і дальністю роботи близько 150-250 м.

Відомими активними системами нічного бачення є:

- Night View Assist від Mercedes-Benz;
- Night View від Toyota.

Пасивні системи нічного бачення не мають власного джерела інфрачервоного випромінювання. Теплова камера (тепловізор) фіксує інфрачервоне випромінювання об'єктів на відстані до 300 м. Вони мають високий рівень контрастності і низьку деталізацію зображення.

Пасивні системи нічного бачення:

- Night Vision Assistant від Audi;
- Night Vision від BMW;



- Night Vision від General Motors;
- Intelligent Night Vision System від Honda.

Найбільш технічно і функціонально досконалою системою нічного бачення є остання розробка Mercedes-Benz - система Night View Assist Plus. Крім стандартних функцій інформування водія, система попереджає пішоходів про потенційну небезпеку.

Конструктивно система Night View Assist Plus складається з:

- інфрачервоних активних камер в фарах головного світла;
- відеокамери за лобовим склом;
- електронного блока керування;
- інформаційного дисплея у кабіні.

Інфрачервоні камери фіксують дорожню обстановку. Відеокамера визначає, в який час доби рухається машина, а також наявність інших машин попереду або на зустрічній смузі. Інформація від камер надходить в електронний блок керування, обробляється і виводиться на інформаційний дисплей.

В якості інформаційного дисплея вико

товується рідкокристалічний дисплей на панелі приладів (S-клас) або екран навігаційної системи (E-клас). У ранніх системах нічного бачення інформація виводилася на лобове скло.

Попередження пішоходів про небезпеку проводиться шляхом подачі коротких світлових сигналів в бік пішохода або їх освітлення протягом п'яти секунд фарами автомобіля. За наявності автомобілів попереду або на зустрічній смузі, система не спрацьовує, щоб не засліплювати інших учасників руху.

Алгоритм програми реалізується при швидкості руху більше 45 км/год і розташуванні пішоходів на відстані не більше 80 м.

Ще далі в цьому напрямку пішла компанія BMW, розробивши інтелектуальну систему нічного бачення для виявлення пішоходів у небезпечній близькості від проїзної частини. Система Dynamic Light Spot за

допомогою датчиків серцебиття визначає наявність живих істот на відстані до 100 м від машини.

Крім інформації, що виводять на інформаційний дисплей, система автоматично висвітлює пішохода. Для цього в місця для протитуманних фар встановлені поворотні діодні фари, здатні висвітлювати об'єкти, що знаходяться поза проїзною частиною.

На автомобілях BMW система Dynamic Light Spot встановлюється на додаток до системи нічного бачення Night Vision.

### ***Система контролю втоми***

Причиною приблизно 25% всіх серйозних аварій на дорогах є втома водія і, як наслідок, засинання за кермом. Найбільший ризик засинання спостерігається в далеких поїздках, особливо в темний час доби і при монотонних дорожніх умовах. Практика показує, що через чотири години безперервного водіння реакція водія знижується в два рази, через вісім годин - в шість разів.

Система контролю втоми (рис. 6.39) стежить за фізичним станом водія і якщо фіксує певні відхилення, попереджає водія про необхідність зупинки та відпочинку.



Рисунок – 6.39 Робота системи контролю втоми

Залежно від способу оцінки втоми водія, розрізняють два типи систем контролю:

- контроль дій водія;

- контроль руху автомобіля.

У ранніх системах втома водія визначалась відеоконтролем за поведінкою очей. При закриванні очей починається вібрація керма. На практиці дані системи показали низьку ефективність запобігання аваріям, тому що реакція водія на попередження занадто запізнювалася.

Mercedes-Benz запропонував систему Attention Assist (рис. 6.40), в якій контроль дій водія ґрунтувався на багатьох факторах: манері руху, поведінці за кермом, використанні органів управління, характері і умовах руху та ін.

Конструкція системи Attention Assist об'єднує давач керма, блок управління, сигнальну лампу та звуковий сигнал оповіщення водія. Давач керма фіксує динаміку дій водія щодо його обертання. У своїй роботі система використовує також вхідні сигнали давачів інших систем автомобіля:

- системи управління двигуном;
- системи курсової стійкості;
- гальмівної системи;
- системи нічного бачення.

Блок управління обробляє вхідні сигнали і визначає:

- стиль водіння (аналіз швидкості, поздовжнього і бічного прискорення протягом 30 хв після початку руху);
- умови водіння (аналіз часу доби, тривалості поїздки);
- використання органів управління (аналіз використання гальма, підкермових перемикачів, кнопок на панелі управління);
- характер обертання рульового колеса (аналіз швидкості, прискорення);
- стан дорожнього полотна (аналіз бічного прискорення);
- характер руху автомобіля (аналіз поздовжнього і бічного прискорення).

В результаті проведених обчислень встановлюються відхилення в діях водія і траєкторії руху автомобіля. На дисплей панелі приладів виводиться

сигнальний напис про необхідність зробити перерву і лунає звуковий сигнал. Система активується на швидкості 80 км/год.



Рисунок – 6.40 Робота системи контролю втоми Attention Assist

Система Driver Alert Control, DAC від Volvo, на відміну від системи Attention Assist, фіксує тільки характер руху автомобіля на дорозі. Відхилення від заданих параметрів руху розглядається системою як втома водія. Система DAC працює спільно з системою Lane Departure Warning та базується на її конструктивних елементах. Система активується на швидкості 60 км /год.

## **6.2.Пасивні системи безпеки**

Пасивна безпека автомобіля повинна забезпечувати виживання і зведення до мінімуму кількості травм у водія і пасажирів автомобіля, що потрапив у дорожньо-транспортну пригоду. В останні роки пасивна безпека автомобілів перетворилася на один з найважливіших елементів з точки зору виробників. У вивчення цієї теми та її розвиток інвестуються величезні кошти, і не тільки з причини того, що фірми піклуються про здоров'я клієнтів, а тому, що безпека є важелем продажу. Пасивна безпека поділяється на зовнішню і внутрішню. Зовнішня досягається відсутністю на зовнішній поверхні кузова гострих кутів, що виступають, ручок і т.д. З цим все зрозуміло і досить просто. Для підвищення рівня внутрішньої безпеки використовують багато різних конструктивних рішень:

1. Конструкція кузова або «решітка безпеки»  
Вона забезпечує прийнятні навантаження на тіло людини від різкого

уповільнення при ДТП і зберігає простір пасажирського салону після деформації кузова. При важкій аварії є небезпека, що двигун та інші агрегати можуть потрапити в кабінку водія. Тому, кабінка оточена особливими «гратками безпеки», що створює захист в подібних випадках. Такі ж ребра і бруси жорсткості можна знайти і в дверцятах автомобіля (на випадок бокових зіткнень). Сюди ж відносяться і області поглинання енергії. При аварії відбувається різке і несподіване уповільнення до повної зупинки автомобіля. Цей процес викликає величезні перевантаження на тіла пасажирів, що можуть виявитися фатальними. Одним із способів рішення цієї задачі є проектування областей руйнування, які поглинають енергію зіткнення, в передній і задній частинах кузова. Руйнування автомобіля буде більш важким, але пасажирів залишаться цілими.

2. Система ременів безпеки, безсумнівно є найбільш дієвим способом захисту людини під час аварії. Після довгих років, протягом яких система залишалася незмінною, в останні роки відбулися істотні зміни, що підвищили ступінь безпеки пасажирів. Так, система попереднього натягу ременів (belt pretensioner) у разі аварії притягує корпус людини до спинки сидіння, тим самим запобігаючи просуванню корпусу вперед або прослизанню під ременем. Дієвість системи обумовлюється тим, що ремінь знаходиться в натягнутому положенні, завдяки застосуванню різних кліпсів і прищипок, які практично анулюють дію попередніх натягувачів. Додатковим елементом ременів безпеки з переднатягувачами є система обмеження максимального навантаження на тіло. При його спрацьовуванні ремінь злегка ослабне, тим самим зменшивши навантаження на тіло.

3. Надувні подушки безпеки (airbag) з однією з поширених і дієвих систем безпеки в сучасних автомобілях (після ременів безпеки). Вони почали широко використовуватися вже в кінці 70-х років, але лише десятиліття опісля вони дійсно зайняли гідне місце в системах безпеки автомобілів більшості виробників. Вони розміщуються не тільки перед водієм, але і перед переднім пасажиром, а також з боків (у дверцятах, стійках кузова і т.д.). Деякі моделі

автомобілів мають їх примусове відключення через те, що люди з хворим серцем і діти можуть не витримати їх помилкового спрацьовування.

4. Сидіння з активними підголівниками, завдання яких - запобігти різким рухам голови під час аварії. Тому слід відрегулювати висоту підголівника і його позицію в правильне положення. Сучасні підголівники мають два ступені регулювання, що дає змогу запобігти травми шийних хребців при наїздах ззаду.

5. Безпека дітей. Поширене пристосування Isofix дозволяє приєднати сидіння безпеки для дитини безпосередньо до місць з'єднання, заздалегідь підготовлених в автомобілі, не використовуючи ремені безпеки. Необхідно лише перевірити, що автомобіль та дитяче сидіння пристосовані до кріплень Isofix.

### ***6.2.1. Подушки безпеки***

Система пасивної безпеки водія й пасажирів, була винайдена на початку 50-х років американським інженером Джоном Хеттріком. Вона мала найпростіше, але досить надійне виконання. Та система була механічною - у разі наїзду на перешкоду, бампер штовхав металеві "тяги безпеки", які в свою чергу відкривали правий чи лівий крани і стиснене повітря з балона через гумовий шланг, прокладений по підлозі автомобіля, надувало гумовий мішок перед водієм. Ця ідея набула стрімкого розвитку, особливо на початку 70-х років минулого століття, коли в системі SRS стали використовуватися всі сучасні досягнення науки, техніки і сама система стала встановлюватися на серійні автомобілі. З 2007р. кожен новий автомобіль обладнаний цією системою безпеки, тому усі провідні автовиробники не оминули її своєю увагою і внесли свій вклад в її удосконалення.

#### *Види подушок безпеки*

Сучасні легкові автомобілі мають декілька подушок безпеки, які розташовуються в різних місцях салону автомобіля. Залежно від місця розташування розрізняють такі види подушок безпеки:

- фронтальні подушки безпеки;

- бічні подушки безпеки;
- головні подушки безпеки;
- колінні подушки безпеки;
- центральна подушка безпеки.

Вперше фронтальні подушки безпеки були застосовані на автомобілях Mercedes-Benz в 1981 році. Розрізняють фронтальну подушку безпеки водія і переднього пасажера. Для фронтальної подушки безпеки переднього пасажера передбачається, як правило, можливість відключення. У ряді конструкцій фронтальних подушок використовується двоступеневе і навіть багатоступеневе спрацювання залежно від тяжкості аварії (адаптивні подушки безпеки). Фронтальна подушка (рис. 6.41) безпеки водія розташовується в кермі, переднього пасажера - у верхній правій частині передньої панелі.



Рисунок – 6.41 Робота фронтальних подушок безпеки

Бічні подушки безпеки (рис. 6.42) покликані знизити ризик травмування тазА, грудної клітки і черевної порожнини при аварії. Піонером у застосуванні бічних подушок безпеки є компанія Volvo, яка в 1994 році почала пропонувати їх для установки в якості опції. Бічні подушки безпеки встановлюються зазвичай в спинці переднього сидіння. Ряд автомобілів пропонують бічні подушки безпеки на задніх сидіннях. Сучасні бічні подушки безпеки мають двокамерну конструкцію. Вони включають більш жорстку нижню частину для захисту тазА і м'якшу верхню частину - для грудної клітки.



Рисунок – 6.42 Робота бічних подушок безпеки Volvo

Головні подушки безпеки (інше найменування - "шторки" безпеки) служать, для захисту голови при бічному зіткненні (рис. 6.43). Вперше "шторки" безпеки почала встановлювати компанія Toyota у 1998 році. Розташовується в залежності від моделі автомобіля в передній частині даху, між стійками і в задній частині даху. Подушки захищають пасажирів переднього і заднього рядів сидінь.



Рисунок – 6.43 Робота бічних подушок безпеки Toyota

Колінна подушка безпеки (рис. 6.44) захищає коліна і гомілки водія від травм. Розташовується під кермом. Вперше застосовано на автомобілях Kia в 1996 році. У ряді моделей встановлюється колінна подушка безпеки переднього пасажира, що встановлюється під речовим відсіком.





Рисунок – 6.44 Робота колінних подушок безпеки

У 2009 році Toyota запропонувала центральну подушку безпеки, яка покликана знизити тяжкість вторинних ушкоджень пасажирів при бічному зіткненні (рис. 6.45). Вона розташовується в підлокітнику переднього ряду сидінь, центральній частині спинки заднього сидіння. Центральні подушки для переднього і заднього ряду сидінь планує використовувати Mercedes-Benz в своїй системі Pre-Safe другого покоління.



Рисунок – 6.45 Робота центральної подушки безпеки

В даний час подушки безпеки виходять за межі салону легкового автомобіля. Компанія Volvo пропонує з 2012 року на своїх автомобілях подушку безпеки для пішоходів (рис. 6.46). Подушка безпеки для пішоходів діє на швидкості від 20 до 50 км/год і не може бути вимкнена водієм. За статистикою більшість (75%) дорожньо-транспортних пригод за участю пішоходів відбувається на швидкості до 40 км / ч.



Рисунок – 6.46 Робота зовнішньої подушки безпеки

Подушка безпеки для пішоходів складається з таких конструктивних елементів:

- давача зіткнення;
- блок управління (модуль захисту пішохода);
- механізми звільнення шарніра капота;
- подушка безпеки.

Подушка безпеки для пішоходів розташовується під капотом, між ним і лобовим склом. Подушка безпеки традиційно складається з тканинної оболонки і газогенератора. Для миттєвого заповнення пристрою використовується балонний газогенератор. При спрацьовуванні подушка безпеки піднімає звільнений від кріплення капот на 10 см, чим створюються додаткові умови для захисту пішоходів - збільшується відстань між капотом і частинами автомобіля.

#### *Будова подушки безпеки*

Подушка безпеки (рис. 6.47) це еластична оболонка, що наповнюється газом, газогенератор і систему управління.

Власне подушка виготовляється з нейлонової тканини. Для змащення подушки безпеки використовується тальк або крохмаль, які можна спостерігати в повітрі салону при спрацьовуванні подушки.

Газогенератор служить для наповнення оболонки подушки газом. У сукупності оболонка і газогенератор утворюють модуль подушки безпеки. Конструкції газогенераторів розрізняють за формою (куполоподібні і трубчасті), за характером роботи (з одно- і двоступеневим спрацьовуванням), за способом газоутворення (твердопаливні і гібридні).

Твердопаливний газогенератор складається з корпусу, піропатрона і заряду твердого палива. Заряд - це суміш азиду натрію, нітрату калію і діоксиду кремнію. Займання палива відбувається від піропатрона і супроводжується утворенням газу азоту. Гібридний газогенератор складається з корпусу, піропатрона, заряду твердого палива і газового заряду під високим тиском (стиснений азот або аргон). Подушки безпеки наповнені стисненим газом, який звільняється від дії заряду з твердого палива.

#### *Принцип дії подушок безпеки*

Активація подушок безпеки відбувається при ударі. Залежно від напрямку удару активуються тільки певні подушки безпеки. Якщо сила удару перевищує заданий рівень, датчики удару передають сигнал в блок управління. Після обробки даних всіх датчиків блок управління визначає необхідність і час спрацювання подушок безпеки та інших компонентів системи пасивної безпеки.

Залежно від типу і ступеня тяжкості аварії можуть спрацювати, наприклад, тільки натягувачі ременів безпеки або натягувачі ременів безпеки разом з подушками безпеки. Блок управління надсилає електричний сигнал для включення газогенераторів відповідних подушок безпеки. Час спрацювання подушки безпеки становить близько 40 мс. Газогенератор забезпечує розкриття і надування газом подушки. Після зіткнення з людиною подушка розривається і здувається.

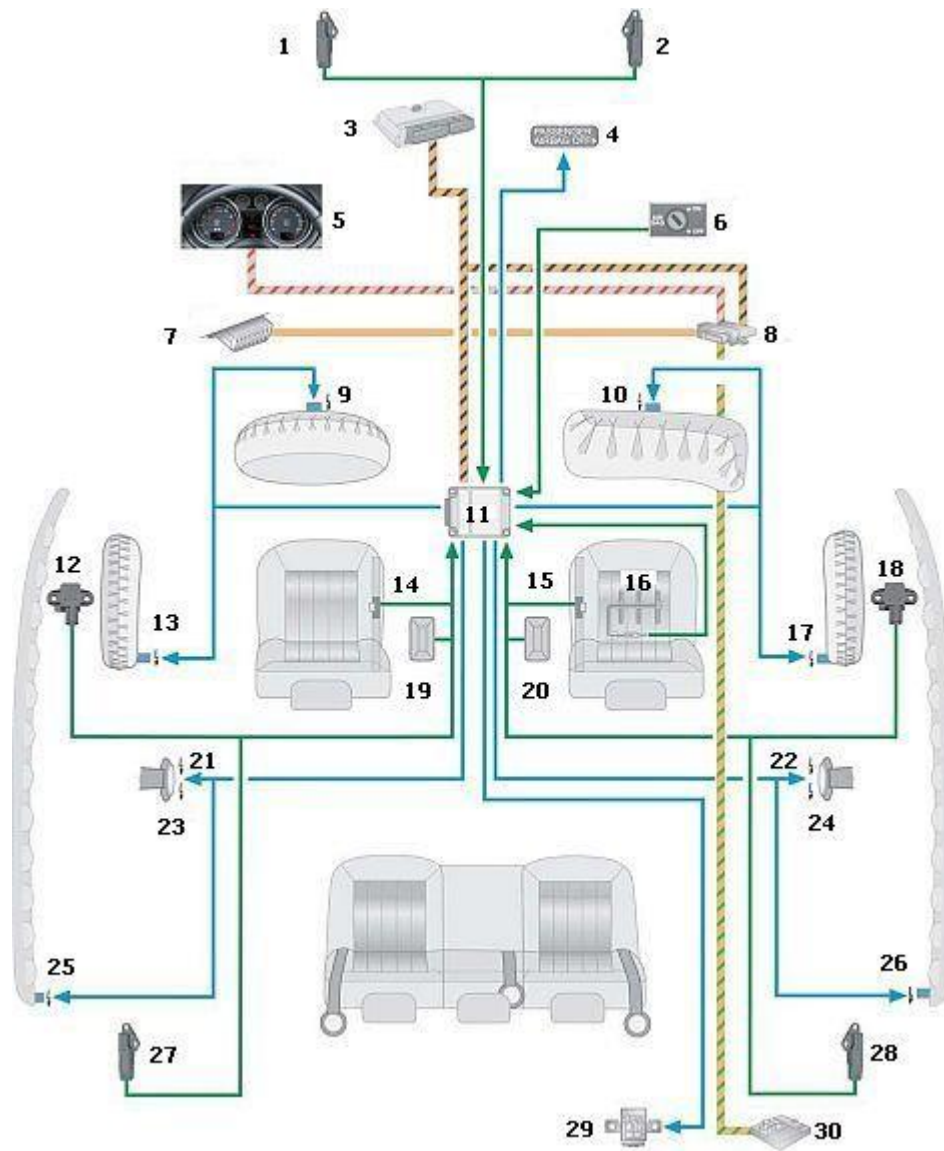


Рисунок – 6.47 Будова системи керування подушками безпеки

1- датчик удару фронтальної подушки безпеки водія; 2- датчик удару фронтальної подушки безпеки переднього пасажира; 3-блок керування двигуном; 4-контрольна лампа подушки безпеки переднього пасажира; 5-контрольна лампа попередження про не пристебнуті ремені безпеки; 6-вимикач подушки безпеки переднього пасажира; 7-діагностичний роз'єм; 8-мережевий інтерфейс; 9-піропатрон подушки безпеки водія; 10-піропатрон подушки безпеки переднього пасажира; 11-блок управління системою пасивної безпеки; 12- датчик удару бічної подушки безпеки водія; 13-піропатрон бічної подушки безпеки водія; 14- датчик положення сидіння водія; 15- датчик положення сидіння переднього пасажира; 16- датчик зайнятості сидіння переднього пасажира; 17-

піропатрон бічної подушки безпеки переднього пасажира; 18- давач удару бічної подушки безпеки переднього пасажира; 19-вимикач замка ременя безпеки водія; 20-вимикач замка ременя безпеки переднього пасажира; 21- піропатрон натягувача ременя безпеки водія; 22-піропатрон натягувача ременя безпеки переднього пасажира; 23-обмежувач зусилля натягувача ременя безпеки водія; 24-обмежувач зусилля натягувача ременя безпеки переднього пасажира; 25-піропатрон головної подушки безпеки лівий; 26-піропатрон головної подушки безпеки правий; 27- давач удару задньої бічної подушки безпеки водія; 28- давач удару задньої бічної подушки безпеки переднього пасажира; 29-піропатрон аварійного розмикання акумуляторної батареї; 30- центральний блок управління системи комфорту

Подушки безпеки є одноразовими пристроями. У разі загоряння автомобіля (підвищення температури в салоні до 150-200°C) усі подушки безпеки автоматично спрацьовують.

#### *Умови спрацьовування подушок безпеки*

Фронтальні подушки безпеки спрацьовують за таких умов:

- перевищення сили лобового удару заданої величини;
- наїзд на твердий міцний предмет (бордюр, край тротуару, стінка ями);
- жорстке приземлення після стрибка;
- падіння автомобіля;
- косий удар в передню частину автомобіля.

Фронтальні подушки безпеки не спрацьовують при ударі автомобіля ззаду, бічному ударі, перекиданні автомобіля.

Умовою спрацьовування бічних і головних подушок безпеки є перевищення сили бокового удару заданої величини.

Алгоритми спрацьовування подушок безпеки постійно удосконалюються і стають все складнішими. Сучасні алгоритми враховують швидкість руху транспортного засобу, швидкість його уповільнення, вагу пасажирів і місце їх

розташування, використання ременя безпеки, а також наявність дитячого крісла.

Розглянемо кілька варіантів виконання подушок безпеки різних виробників.

Розташування елементів показано на рис. 6.48. Зараз, мабуть, важко знайти сучасний автомобіль, в якому б не було системи SRS. Іноді, не зовсім справедливо, ми називаємо цю систему пасивної безпеки як «AirBag» (що в дослівному перекладі означає «повітряний мішок») і, напевно, мало хто знає наскільки складна ця система і складається вона з (рис. 87).

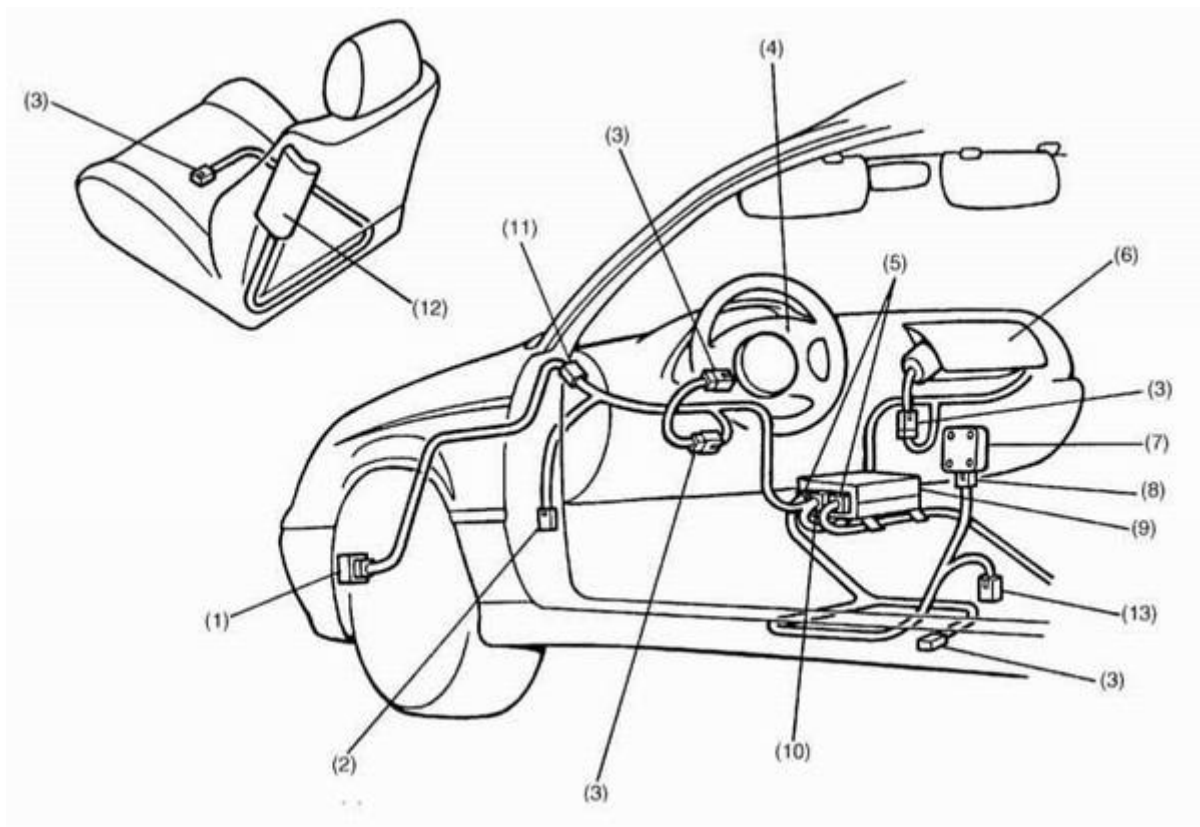


Рисунок – 6.48 Розташування елементів системи SRS

1 - Передній давач плямолінійних перевантажень; 2 - 7-контактні роз'єми електропроводки SRS жовтого кольору; 3 - двоконтактний роз'єм електропроводки SRS; 4 - модуль водійської фронтальної подушки безпеки; 5 – 12-контактні роз'єми електропроводки SRS; 6 - модуль пасажирської фронтальної подушки безпеки; 7 - давач плямолінійних перевантажень бічних

подушок безпеки; 8 – чотириконтактний роз'єм електропроводки SRS; 9 - модуль управління SRS; 10 - 28-контактний роз'єм електропроводки SRS; 11 – двоконтактний роз'єм електропроводки SRS; 12 - модуль водійської бічної подушки безпеки, 13 - двоконтактний роз'єм електропроводки SRS (для аварійного натягувача ремня безпеки);

Принцип роботи системи SRS досить простий і підпорядкований одній ідеї - зберегти життя водію та пасажиром при аварії.

Інерційні давачі, розташовані як попереду, так і по боках автомобіля, розраховані на спрацьовування при швидкості зіткнення близько 50 км/год. Давачі мають маятникову конструкцію (рис.6.49), анкерний вузол якої при перевищенні ударом гранично допустимого значення повертається і забезпечує замикання відповідного електричного кола. Модуль управління SRS, отримавши сигнал від датчика, миттєво подає електричний імпульс на подушку безпеки (AirBag), а точніше на піропатрон (Igniter Gas Generator), довжиною 8-10 см. і товщиною всього 9-15 мм.

Електричний давач (рис. 6.50) складається з чутливого до спрямованих перевантажень напівпровідникового елемента, опір якого змінюється в залежності від інтенсивності удару. Датчик дозволяє керуючому пристрою оцінити перевантаження, які виникають при зіткненнях.

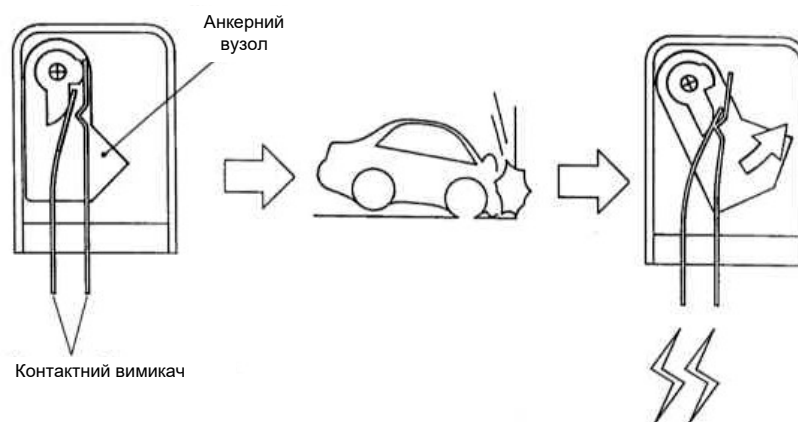


Рисунок – 6.49 Схема роботи датчиків направленої перевантаження

Кристали миттєво перетворюються в газ, що складається, з азоту, який на протягом 15-60 мілісекунд надуває подушку безпеки, і вона, розширюючись, починає рухатись назустріч водієві або пасажиру зі швидкістю від 200 до 300 км/год і, якщо хтось з них не пристебнувся, то травми різної тяжкості цілком можливі. Необхідно відзначити, що подушка безпеки водія надувається набагато швидше, ніж AirBag пасажирів внаслідок того, що має менший літраж (40-60 літрів).



Рисунок – 6.50 Схема роботи електричних датчиків

### **6.2.2. Система захисту від бокового удару**

Розробник: Volvo розробив систему захисту від бокового удару SIPS (Side Impact Protection System), яка вперше з'явилася в 1991 році. Головним її завданням було поглинання енергії бічного удару всім кузовом автомобіля. Другий крок у розвитку SIPS шведи зробили в 1994 році - тоді на автомобілі Volvo почали серійно встановлювати бічні надувні подушки безпеки. Спочатку це зробили на машинах Volvo-850, а зараз система SIPS з бічними подушками встановлюється на всі автомобілі Volvo. Підраховано, що використання SIPS знижує летальні наслідки і важкі травми при бічних ударах на 40%. Дослідження показали, що через травми голови відбувається чверть усіх смертей при аваріях, значна частина цих аварій - бокові удари або групові



аварії. При цьому пасажирів вдаряються головою до стійок даху або до скла дверей.

Найбільшою проблемою є мала відстань між головою та дверима. Інженери вирішили натягнути між людиною і бічною частиною автомобіля захисну надувну завісу. По-англійськи це звучить як Inflatable Curtain, так що нова система отримала позначення ІС.

Місце для завіси знайшлося в поздовжньому ребрі даху - безпосередньо над дверними прорізами. Працює ІС таким чином. Коли у бік автомобіля врізається інший автомобіль, бічні датчі удару надсилають сигнал на спрацювання ІС. Завіса викидається з місця встановлення і надувається газом за 0,025 секунди.

Завіса довга - від лобового до заднього скла, в ній багато вертикальних надувних каналів-валиків, тому довга шторка захищає і людей, що сидять спереду, і задніх пасажирів (рис.6.51). Надувна завіса допоможе і при інших аваріях. Наприклад, якщо автомобіль вилетів з дороги і притулився боком до дерева. Система ІС розроблена спільно з компанією Autoliv, що працює в області пасивної безпеки.

У Гетеборзі Volvo побудувала новий дослідницький комплекс пасивної безпеки, в будівництво якого було інвестовано 650 000 000 шведських крон. На його базі проводять всі види випробувань: від бічних ударів і перекидань до зіткнень з автобусами і вантажівками.



Рисунок – 6.51 Зони захисту подушками безпеки

Модернізована система ІС на Volvo складається з двох захисних завіс (рис. 6.52). Вони монтуються під оббивкою даху уздовж кожної сторони автомобіля і захищають усіх пасажирів. При зіткненні завіса звільняється і надувається до повного об'єму всього за 25 тисячних часток секунди. Через три секунди починається процес спускання; він проходить повільно, щоб забезпечити максимальний захист при множинних зіткненнях. Завіса покрита повітряними каналами, сконцентрованими в областях, об які пасажирів автомобіля можуть вдаритися головою. ІС надувається тільки на тій стороні, на яку припав удар. Вона спрацьовує від датчиків в стійці за дверним отвором. Ті ж самі датчики використовуються для спрацьовування мішків SIPS (захист від бічних ударів). Якщо спрацьовує тільки датчик позаду, то надувається тільки ІС-мішки, а SIPS не спрацьовують. Газ в ІС - це суміш аргону і гелію, він нешкідливий для людей і навколишнього середовища.



Рисунок – 6.52 Випробування подушок безпеки

Такий самий принцип використала AUDI для створення системи верхніх подушок безпеки sideguard. Вона служить ефективним доповненням до бічних подушок безпеки і правильно пристебнутим триточковим ременем безпеки (рис.6.53). При бічному ударі вона захищає голови людей, що знаходяться в автомобілі. Подушка безпеки sideguard пом'якшує удар голови об внутрішні деталі кузова або предмети, що знаходяться за межами автомобіля. Крім того, утримуючи голову, вона знижує навантаження на шию людини. Разом з конструктивними елементами пасивної безпеки система sideguard забезпечує найкращий захист при бічному ударі.

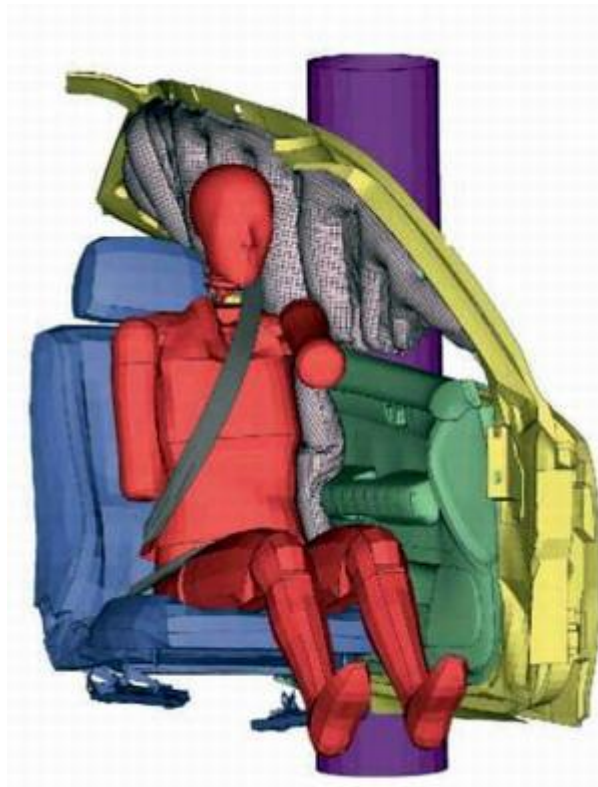


Рисунок – 6.53 Моделювання роботи подушки безпеки

BMW також активно працює у напрямку підвищення безпеки та сконструювала систему ITS – Integrated Tubular Sidebag (вбудована подушка-труба). ITS розроблена у співпраці з однією з аерокосмічних компаній. Подушка дійсно є надувною трубою, а ховається вона у стійці лобового скла і у верхній частині прорізу передніх дверей. На кінцях труби - потужні ремені, якими вона кріпиться під передньою панеллю з одного боку і в районі задніх дверей - з іншого (рис.6.54).



Рисунок – 6.54 Робота подушки-труби

Піротехнічний пристрій труби розташовано під передньою панеллю. Активізується система від датчиків удару (аналогічних тим, від яких

спрацьовують звичайні бічні подушки). Коли трубу заповнює газ, вона роздувається в діаметрі в чотири рази. Одночасно скорочується довжина труби, що збільшує її жорсткість в поперечному напрямку. Причому труба розташовується так, що люди різного зросту будуть захищені однаково: вона натягнеться акурат на рівні голови. Оскільки ITS натягується поперек віконного отвору, то "труба" ще перешкоджає випаданню через вікно при перекиданні і навіть частково захищає очі від битого скла. Найближчим часом ITS почнуть серійно встановлювати на автомобілі BMW.

Свій варіант системи захисту від бокового удару запропонував Porsche, який створив **POSIP (Porsche Side Impact Protection)** (рис.6.55). До головних компонентів системи відносяться дві надувні подушки для захисту голови. Плоскі подушки ховаються під облицюванням дверей у нижньому краї бічного скла і при бічному ударі розкриваються знизу вгору. Подушки для захисту грудної клітини, розташовані в зовнішній стороні спинки переднього сидіння, дві повнорозмірні фронтальні подушки безпеки, а також триточкові інерційні ремені безпеки з переднатягувачами і обмежувачами зусилля натягу на передніх сидіннях доповнюють систему захисту водія і пасажирів.



Рисунок – 6.55 Улаштування подушок безпеки

Найдалі у розробці системи просунувся Jaguar, який удосконаливши існуючу систему розробив адаптивну електронну систему, яка визначає параметри спрацьовування фронтальних подушок (встановлюються і бічні)



залежно від сили удару, а також враховує вагу пасажирів і його розташування в кріслі, залишивши принципи приведення в дію без змін (рис.6.46).

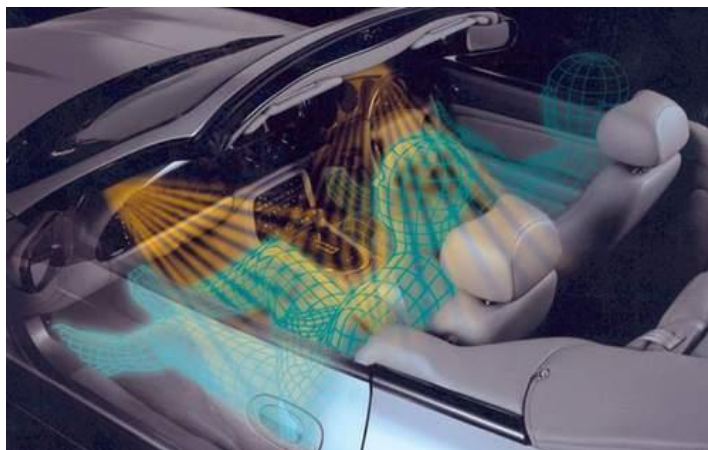


Рисунок – 6.56 Визначення розташування людей в автомобілі

### 6.2.3. Активні підголовники

Не останнім засобом запобігання травматизму водія і пасажирів під час попутнього зіткнення є активні підголовники. Компанія Saab розробила систему **SAHR (Saab Active Head Restraints)** (рис. 6.57, яка вперше з'явилися на автомобілі ще в 1997 році. При наїзді ззаду людина, втискаючись в крісло, тисне на заховані усередині опори підголовника, завдяки чому сам підголовник наближується до голови і створює опору на ранній стадії удару. Накопичена страховими компаніями за вісім минулих років статистика вельми позитивна - підголовники SAHR знизили кількість травм при попутних зіткненнях в середньому на 42%.

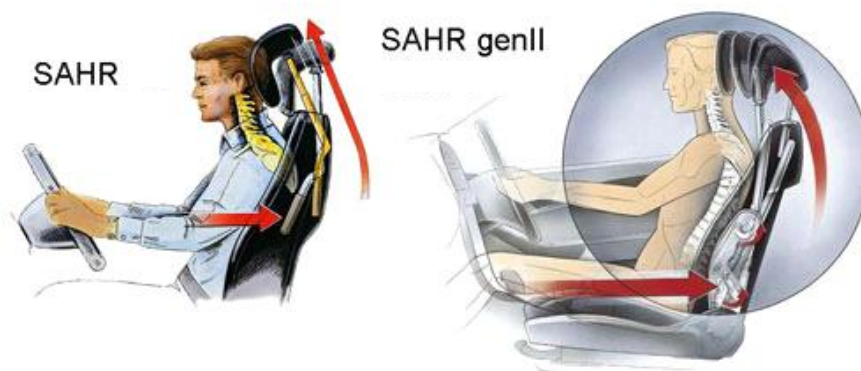


Рисунок – 6.57 Принцип роботи активних підголовників

Mercedes-Benz вирішив покращити роботу активних підголівників застосувавши для приведення їх в дію електричні давачі та систему керування, створивши систему **NECK-PRO**. Підголівники реагують на давачі удару позаду і за частки секунди підводять подушку до потилиці водія, висуваючи її на 40 мм вперед і на 30 мм вгору (рис. 6.58). Цього достатньо, щоб пом'якшити удар і запобігти серйозному каліцтву в області шиї. Після виконання своєї роботи підголовники легко повертаються на початкову позицію простим відведенням їх назад.



Рисунок – 6.58 Робота активних підголівників

Запобігти травматизму при ударах позаду призначена система **WHIPS (Whiplash Protection System)** розроблена компанією Volvo. Система призначена для зниження навантажень на хребет і зменшення ймовірності отримання травм хребта при ударі ззаду на низьких швидкостях (попутному зіткненні). При такій аварії система забезпечує пересування спинки сидіння назад (для зниження навантаження), після чого спинка відкидається на кут  $15^\circ$ , для запобігання «ефекту катапультивання» (рис.6.59). Як показали тести в лабораторних випробуваннях сили, що впливають на шию, зменшуються до 50%.



Рисунок – 6.59 Зміна кута нахилу спинки сидіння

#### **6.2.4. Ремені безпеки**

Найпоширенішим конструктивним елементом системи пасивної безпеки автомобіля є ремені безпеки. Ремені безпеки призначені для запобігання небезпечного переміщення людини, яке може відбутися при зіткненні або різкому гальмуванні. Використання ременів безпеки знижує імовірність і тяжкість травм від ударів до твердих частин кузова, скла, з іншими пасажирями. Пристебнуті ремені безпеки забезпечують ефективну роботу подушок безпеки.

Види ременів безпеки

За кількістю точок кріплення розрізняють такі види ременів безпеки:

- двоточкові;
- триточкові;
- чотири-, п'яти-і шеститочкові ремені безпеки.

Двоточкові ремені безпеки (рис.6.60) в даний час можна зустріти в якості середнього ремня на задньому сидінні деяких старих автомобілів, а також на пасажирських місцях в літаках. Двосторонній ремінь безпеки являє собою поясний ремінь, що проходить по талії і закріплений з двох сторін сидіння.



Рисунок – 6.60 Вигляд двоточкових ременів безпеки

Триточкові ремені безпеки (рис.6.61) є основним видом ременя безпеки і встановлюються на всіх сучасних автомобілях. Триточковий діагонально-поясний ремінь безпеки має V-подібне розташування, яке забезпечує рівномірний розподіл енергії рухомого тіла на груди, таз і плечі. Перші серійні триточкові ремені безпеки були запропоновані компанією Volvo в 1959 році, розробник - Нільс Болін.



Рисунок – 6.61 Вигляд триточкових ременів безпеки

Чотириточкові ремені безпеки (рис. 6.62) встановлюються на спортивних автомобілях. Мають чотири точки кріплення до сидіння автомобіля. Для серійних автомобілів є перспективною конструкцією, для встановлення ременя необхідні додаткові верхні кріплення ременя, які не передбачені конструкцією автомобіля.





Рисунок – 6.62 Вигляд п'ятиточкових ременів безпеки

П'ятиточкові ремені безпеки використовуються у спортивних автомобілях, а також для кріплення дітей в дитячих автомобільних сидіннях. Включають два поясних ремені, два плечових ремені і один ремінь, що знаходиться між ніг. Шеститочкові ремені безпеки (рис. 6.63) мають два ремня між ніг, завдяки чому чого забезпечується більш надійна фіксація пілота спортивного автомобіля.



Рисунок – 6.63 Вигляд шеститочкових ременів безпеки

Щоб запобігти нехтуванню ременями безпеки, з 1981 року пропонуються автоматичні ремені безпеки. Ці ремені безпеки автоматично закріплюють пасажирів при закритті дверей (запуску двигуна) і звільняють його при відкритті дверей (зупинки двигуна). Автоматизовано, правило, рух плечового ременя, який рухається по краях дверної коробки. Поясний ремінь закріплюється

вручну. Зважаючи на складність конструкції, незручності посадки в автомобіль автоматичні ремені безпеки в даний час практично не застосовуються рис. 6.64.



Рисунок – 6.64 Вигляд автоматичних ременів безпеки

Найбільш поширені триточкові ремені безпеки, які складаються з:

- лямки;
- замка;
- втягуючої котушки.

Лямка ременя безпеки виготовляється з міцного матеріалу. Лямка кріпиться до кузова за допомогою спеціальних пристроїв у трьох точках: на стійці, на порозі і на спеціальній тязі із замком. Для адаптації ременя до зросту конкретної людини в багатьох конструкціях передбачається регулювання верхньої точки кріплення по висоті.

Замок забезпечує закріплення ременя безпеки і встановлюється біля сидіння автомобіля. Для з'єднання із замком на лямці розміщено рухливий металевий язичок. Для нагадування про необхідність застосування ременя безпеки в конструкції замка передбачається вимикач, який включений в ланцюг аудіовізуальної сигнальної системи. Попередження відбувається за допомогою сигнальної лампи на приладовій панелі і звукового сигналу. Алгоритм роботи цієї системи має відмінності у різних автовиробників.

Втягуюча котушка забезпечує примусове розмотування і автоматичне змотування ременя безпеки. Вона кріпиться на стійці кузова автомобіля.

Котушка оснащена інерційним механізмом блокування, який зупиняє рух ременя в котушці при аварії. Використовується два способи блокування - в результаті руху (інерції) автомобіля і в результаті руху самого ременя безпеки. Ремінь можна витягнути з барабана котушки тільки повільно без прискорення.

#### ***6.2.5. Натягувач ременів безпеки***

Сучасні автомобілі оснащуються ременями безпеки з натягувачами. Натягувач ременя безпеки (рис.6.65) призначений для завчасного запобігання переміщенню людини вперед (щодо руху автомобіля) при аварії. Це досягається завдяки змотуванню і зменшенню свободи прилягання ременя безпеки.



Рисунок – 6.65 Схема автоматичного натягувача ременя безпеки

Натягувач забезпечує змотування відрізка ременя безпеки довжиною до 130 мм за час 13 мс. Нерідко під натягувачем ременя безпеки помилково розуміють втягуючий пристрій ременя безпеки. Натягувачі, як правило, встановлюються на замку ременя безпеки. Рідше натягувачі встановлюються на втягуючому пристрої ременя безпеки.

За принципом дії розрізняють такі конструкції натягувачів ременів безпеки:

- тросовий;
- кульковий;
- роторний;
- рейковий;
- стрічковий.

Зазначені конструкції натягувачів оснащуються механічним або електричним приводами. Привід натягувача є способом займання піропатрона:

- механічний привід ґрунтується на запаленні піропатрона механічним способом (наколювання ударником);
- електричний привід припускає займання піропатрона електричним сигналом від електронного блока управління (або від окремого давача).

Робота натягувачів ременів безпеки в залежності від конструкції може здійснюватись як у складі системи пасивної безпеки, так і автономно.

При аварії задні давачі удару передають відповідний сигнал в блок управління, який активує піропатрон і приводить в дію натягувачі ременів безпеки. Для запобігання значним навантаженням на пасажирів при аварії, натягувач оснащується обмежувачем зусилля натягування ремня безпеки. Обмежувач при певному навантаженні послаблює дію ремня безпеки на людину.

Найпростішим обмежувачем зусилля натягування ремня безпеки є петля, прошита на ремені безпеки. При перевищенні певного зусилля натягу ремня безпеки шви в петлі рвуться, і ремінь стає довшим.

У сучасних конструкціях зусилля натягу ремня безпеки обмежується торсіонним валом в катушці ремня безпеки. Залежно від зусилля натягу ремня безпеки торсіонний вал скручується, зменшуючи навантаження.

#### ***6.2.6. Аварійний від'єднювач акумуляторної батареї***

Аварійний роз'єднювач (рис.6.66) призначений для запобігання короткого замикання в електричній системі й можливого загоряння автомобіля.

Аварійним роз'єднувачем акумуляторної батареї оснащуються автомобілі, у яких акумуляторна батарея встановлена в салоні або багажному відділенні.

Розрізняють такі конструкції аварійного роз'єднувача:

піропатрон відключення акумуляторної батареї;

реле відключення акумуляторної батареї.

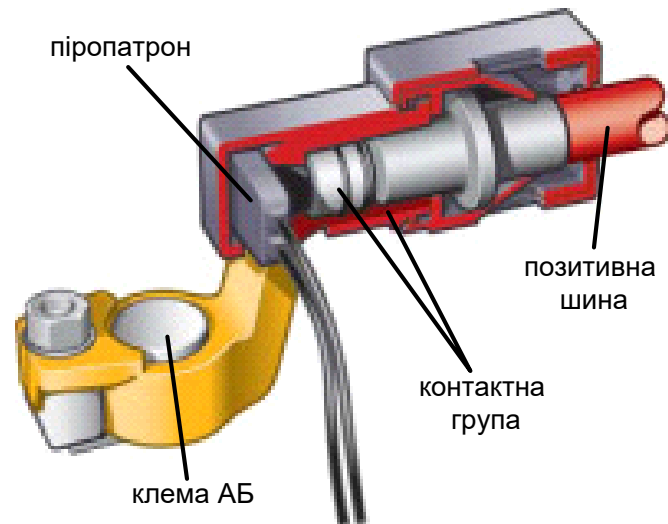


Рисунок – 6.66 Будова аварійного від'єднувача акумуляторної батареї (піропатрон)

Піропатрон відключення встановлюється на позитивній клемі акумуляторної батареї. Піропатрон спрацьовує за командою блока управління системи пасивної безпеки. Розмикання відбувається завдяки газам, що виділяються при спрацьовуванні піропатрона.

Реле відключення спрацьовує також за командою блока управління. Активовані при аварії піропатрон або реле підлягають заміні.

Всі згадані вище системи безпеки призначені для підвищення безпеки пересування транспортним засобом та зменшення наслідків у випадку виникнення транспортної пригоди. Найбільший ефект від застосування таких систем настає при комплексному застосуванні активних і пасивних систем безпеки. Звісно є і негативні наслідки застосування систем – це здорожчання транспортних засобів при обладнанні його кількома додатковими системами, але не зважаючи на це виробники постійно шукають способи уникнути великих

матеріальних витрат не знижуючи рівня безпеки автомобіля. Спонукають до цих пошуків і загальноєвропейські вимоги, щодо безпеки і надійності наземного транспорту. Постійний і стрімкий розвиток науки та техніки, в тому числі і у галузі транспортних засобів, іде в напрямку підвищення безпеки у транспортній інфраструктурі.

## 7 ДИСКРЕТНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 7.1. Класифікація дискретних систем керування

**Система автоматичного керування називається дискретною, якщо вихідна величина якої-небудь з її ланок (елементів) має дискретний характер.**

Ланка дискретної дії (дискретний елемент) - це ланка, вихідна величина якої змінюється дискретно, тобто стрибками, навіть при плавній зміні вхідної величини.

Дискретними елементами є, наприклад, різноманітні реле, перемикачі, тригери та інші нелінійні елементи з характеристикою, що має різкі переломи, або розриви.

Перетворення неперервних сигналів у дискретні пов'язано з наявністю в системі *дискретного елемента*, який виробляє на виході послідовність імпульсів. Розрізняють дискретність за рівнем та за часом.

**Сигнали дискретні за рівнем** отримують у результаті квантування сигналу за рівнем, тобто фіксації дискретних рівнів у довільні моменти часу. Квантування за рівнем здійснюється за допомогою заміни безперервно змінної величини найближчими до неї фіксованими дискретними значеннями, що виражаються, наприклад, цілими числами  $x_0, x_1 \dots x_n$  (рис.7.1а).

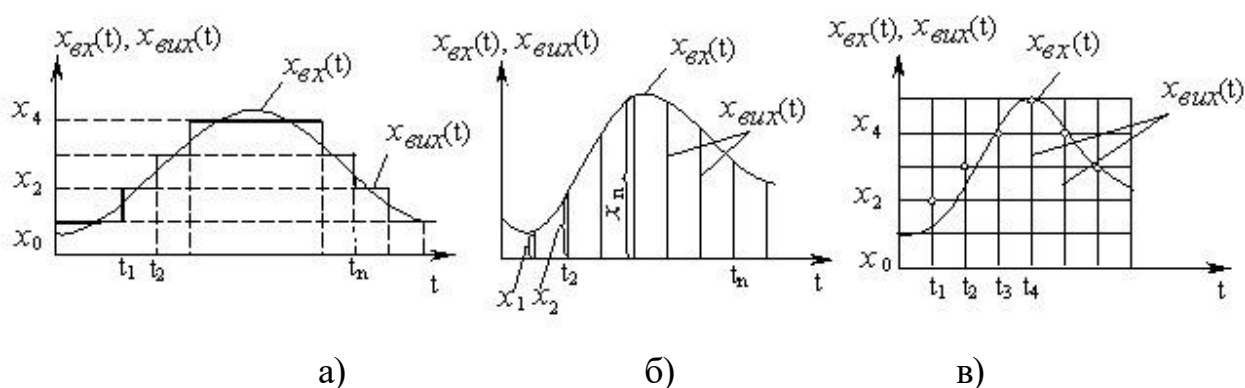


Рисунок – 7.1 Залежності утворення дискретних сигналів

Квантування за рівнем у найпростішому випадку здійснюється *релейним елементом*, вихідна величина якого може набувати кінцевого числа фіксованих рівнів, що, як правило, дорівнює двом чи трьом. Прикладом систем, у яких

здійснюється квантування за рівнем, можуть служити релейні системи автоматичного керування, які є істотно нелінійними системами.

**Сигнали дискретні за часом**, виходять у результаті квантування сигналу за часом, тобто фіксації дискретних моментів часу  $t_1, t_2 \dots t_n$  (рис. 7.1б), при яких рівні вхідного сигналу можуть набувати довільних значень  $x_1, x_2 \dots x_n$ . Квантування за часом здійснюється *імпульсним елементом* і застосовується в *імпульсних системах*.

Поряд з роздільним квантуванням за рівнем і за часом, у багатьох випадках застосовується *одночасне квантування за рівнем і за часом*, коли неперервний сигнал заміняється дискретними за рівнем значеннями, найближчими до значень неперервного сигналу в дискретні моменти часу (рис.7.1в). У результаті такого квантування неперервна величина перетвориться в цифрову.

Квантування сигналів за рівнем і за часом здійснюється кодово-імпульсним модулятором або цифровим обчислювальним пристроєм (ЦОП). Системи автоматичного керування, у яких застосовується в якості дискретного елемента цифровий обчислювальний пристрій чи кодово-імпульсний модулятор, називаються *цифровими*.

Дискретні системи широко використовуються в пристроях силової електроніки оскільки дають змогу одержати високий ККД і хороші масо-габаритні показники. До першої і другої груп відносяться імпульсні стабілізатори напруги і струму, випрямлячі, перетворювачі частоти, інвертори напруги і струму. Системи керування різних пристроїв силової електроніки в багатьох випадках будуються на основі мікропроцесорів або однокристальних мікро-ЕОМ.

У подальшому основну увагу приділимо розгляданню імпульсних САК.

## **7.2. Імпульсні САК**

*Імпульсні системи автоматичного керування* (ІСАК) містять імпульсний елемент, який перетворює неперервний вхідний сигнал у послідовність імпульсів. У найпростіших випадках структурні схеми ІСАК мають вигляд (рис.7.2)



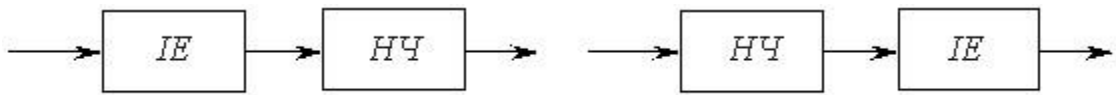


Рисунок – 7.2 Структурна схема ІСАК

де ІЕ- імпульсний елемент; НЧ- неперервна частина.

Залежно від вигляду модульованого параметра розрізняють такі види модуляції:

1. амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ),  $A$ - var (рис.7.3)
2. широтно-імпульсна модуляція (ШІМ),  $\tau_2$  – var;
3. фазо-імпульсна модуляція (ФІМ),  $\tau_1$ - var, тобто змінюється положення імпульсу на інтервалі  $T$ ;
4. частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ),  $f=1/T$ - var.

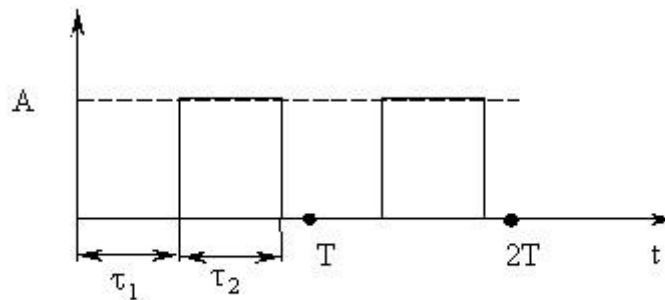


Рис.7.3 Амплітудно імпульсна модуляція сигналу

Модуляцію розрізняють також за характером зв'язку між вхідним (модулюючим) сигналом і модульованим параметром на модуляцію І-го, ІІ-го роду (рис.7.4). Якщо модульований параметр визначається значеннями вхідного сигналу у фіксовані, рівновіддалені один від одного моменти часу (тактові), то це *модуляція першого роду* (АІМ-І, ШІМ-І і т.д.) Якщо значення модульованого параметра визначаються деяким функціоналом від вхідного сигналу або визначаються в результаті розв'язку трансцендентних рівнянь - то це *модуляція другого роду* (АІМ-ІІ, ШІМ-ІІ і т.д.) Іншими словами, якщо модульований параметр у процесі

існування імпульсу залишається постійним, то це модуляція першого роду, якщо ж модульований параметр змінюється відповідно до поточного значення вхідного сигналу – то це модуляція другого роду.

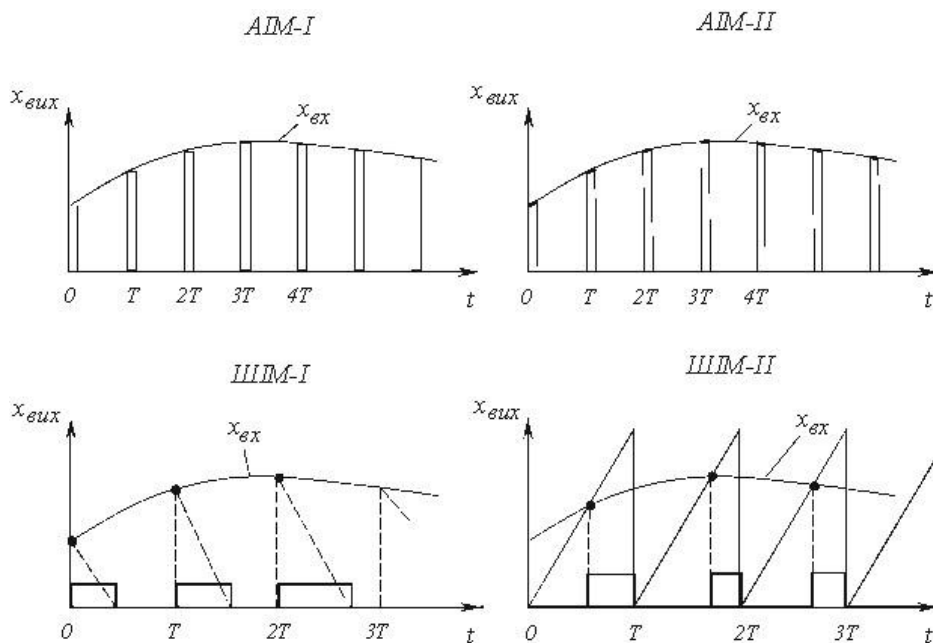


Рис.7.4 Амплітудно та широтноімпульсна модуляція сигналу

Модуляційною характеристикою імпульсного елемента (рис.7.5) називається залежність величини модульованого параметра імпульсної послідовності від відповідних дискретних значень вхідної величини. Ця характеристика може бути лінійною або нелінійною. ШІМ і ЧІМ нелінійні за своєю природою. Так для ШІМ найменша тривалість імпульсу дорівнює нулю, а найбільша – періоду  $T$ . Модуляційна характеристика може мати вигляд:



Рис.7.5 Формування модуляційної характеристики

*Зпитання для самопідготовки*

- 1. Що таке дискретна система автоматичного керування?*
- 2. Що таке дискретна ланка системи автоматичного керування?*
- 3. Які види квантування сигналів ви знаєте?*
- 4. Які види модуляції ви знаєте?*

## Література

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов – М. : Наука, 1993. – 768с.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - Київ: Либідь, 2005. - 680 с.
3. Поліщук Е.С. Методи та засоби вимірювання неелектричних величин / Е.С. Поліщук – Львів : НУ"Львівська політехніка", 2000. – 360с.
4. Гаврилюк М.О. Давачі систем автоматики / М.О. Гаврилюк. – Львів : НУ"Львівська політехніка", 2001. – 240с.
5. Камразе А.Н. Контрольно-измерительные приборы и автоматика / А.Н. Камразе, М.Я. Фитерман. – Л. : Химия, 1988г.
6. Жарковский Б.И. Приборы автоматического контроля и регулирования / Б.И. Жарковский. - М. : Высшая школа, 1983г.
7. Акимов С. В. Электрооборудование автомобилей : учебник для вузов / С. В. Акимов, Ю.П. Чижков. – М. : ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. - 384 с.
8. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей : учебник для студентов вузов / В. Е. Ютт. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 2000. – 320 с.
9. Соснин Д. А. Автотроника : учеб. пособие / Д.А. Соснин. – М. : «Солон-Р», 2001.—373 с.
10. Яковлев В.Ф. Диагностика электронных систем автомобиля : учеб. пособие / В.Ф. Яковлев. – М. : «СОЛОН-Пресс», 2003. – 272с.
11. Ronald K. Jurgen Automotive electronics handbook / K. Ronald. – McGraw-Hill, Inc., 1999.
12. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC : пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса. — М. : Мир, 1992. – 592 с.
13. Тюнин А.А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей. – М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2007. -325с.

14. Сосин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы. / Сосин Д.А., Яковлев В.Ф. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2005. – 240с.
15. Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей/Учебник для вузов/Акимов С.В., Чижков Ю.П. – М.:ЗАО КЖИ, 2001. – 384с.
16. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. – М.: Транспорт, 200. – 320с.