

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

### 5.1 Сучасна інформаційна система водія

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

#### 5.1.2 Бортовий комп'ютер

#### 5.1.3 Інформація про стан бортових систем автомобіля

### 5.2 Бортові засоби відображення інформації

#### 5.2.1 Стрілочні індикатори

#### 5.2.2 Цифрові індикатори (дисплеї)

#### 5.2.3 Індикатори на світлодіодах

#### 5.2.4 Рідкокристалічні дисплеї

#### 5.2.5 Вакуумні флуоресцентні індикатори

#### 5.2.6 Електронно-променеві трубки

### 5.3 Приладові панелі

### 5.4 Відображення інформації на лобовому склі

### 5.5 Перспективні засоби відображення інформації

### 5.6 Навігаційні системи автомобіля

#### 5.6.1 Функції, структура і складові компоненти навігаційної системи

#### 5.6.2 Датчик азимута (компас)

#### 5.6.3 Датчик швидкості обертання коліс

#### 5.6.4 Гіроскоп

### 5.7 Навігаційне числення

### 5.8 Електронні картки

#### 5.8.1 Орієнтування па карті місцевості але конфігурації пройденого шляху

#### 5.8.2 Вибір оптимального маршруту ПО

### 5.9 Супутникове позиціонує система GPS

### 5.10 Приклади автомобільних навігаційних систем

### 5.11 Системи охоронної сигналізації і протиугонні пристрої

#### 5.11.1 Електронні протиугінні системи

#### 5.11.2 Дистанційне керування протиугінними пристроями

#### 5.11.3 Характеристики протиугінних систем з дистанційним управлінням

#### 5.11.4 Робота протиугінної системи з дистанційним управлінням

#### 5.11.5 Види злому і захист від них

#### 5.11.6 Шифратори і дешифратори динамічного коду Keeloq

#### 5.11.7 Імобілізатор з транспондером

#### 5.11.8 Конфігурація протиугінної системи

#### 5.11.9 Додаткові датчики

### **5.1 Сучасна інформаційна система водія**

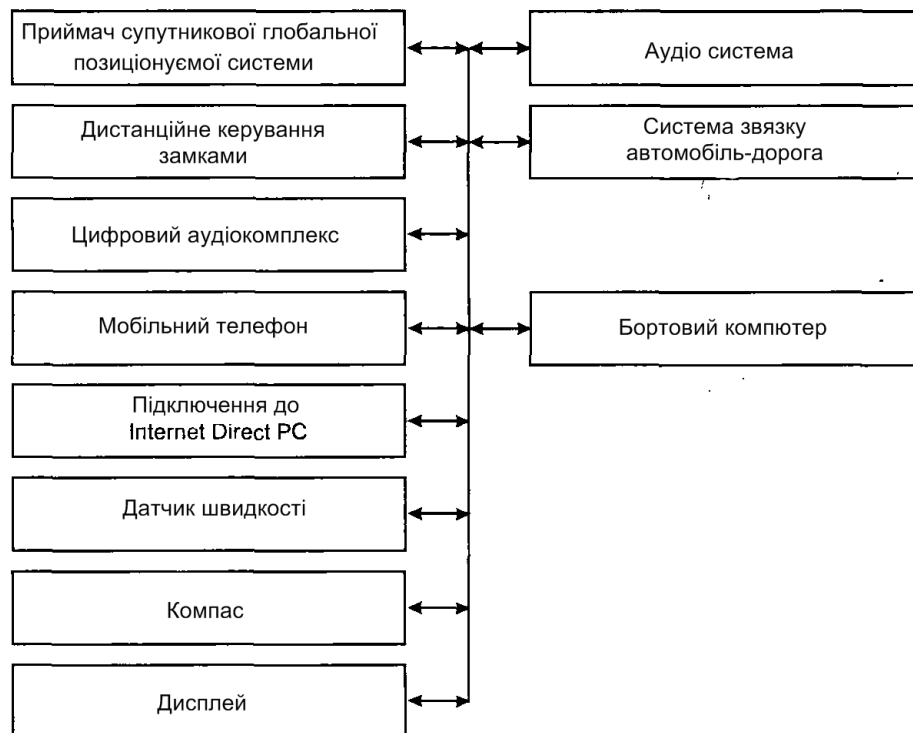
Автомобільна інформаційно-діагностична система є складовою сучасного автомобіля і призначена для збору, обробки, збереження та відображення інформації про режим руху і технічний стан автомобіля, також зовнішні чинники, що його оточують.

Сьогодні система «водій — автомобіль — дорога — середовище» розглядається як єдине ціле. Поліпшення руху на перевантажених автомагістралях можливо, якщо водій матиме оперативну інформацію про стан дороги, транспортні потоки і стан керованого автомобіля.

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

На рисунку 5.1 наведено блок-схема інформаційної системи водія, але для конкретного автомобіля втілення її може бути іншим. У інформаційній системі міститься кілька підсистем, у тому числі, навігаційну систему, дистанційне керування дверними замками, систему зв'язку «автомобіль — дорога», цифровий аудіо- відео- комплекс, систему повідомлення термінової інформації водієві по радіо. На бортовий комп'ютер надходять також сигнали від компаса, датчика швидкості обертання коліс, датчика положення керма та інших.

Сучасні інформаційні системи водія, з їхніми широкі можливостями, дедалі частіше називають телематичними (утворено від слів телекомунікації і інформатика). Телематичні системи — це пристрої обміну інформацією між системами автомобіля, водієм навколишнім світом: бортовий комп'ютер, навігаційна система, засоби зв'язку і т. ін. Електронні блоки управління агрегатами автомобіля (двигун, гальма з ABS і т. ін.) надають інформації системам телематики через шини даних. Очікується, що 2010 року майже всі автомобілі матимуть мінімальний пакет телематики. Система дистанційного управління дверними замками автомобіля широко використовується вже сьогодні. Портативний передавач, інфрачервоний або радіо, вміщений в руці («брелок»), надсилає цифровий код приймальному пристрою автомобіля. Якщо код правильний, спрацьовує виконавчий механізм і замок відмикається. Якщо система впізнає два кодових послання як хибні, то дистанційне управління замками блокується, і тоді їх можна відкрити лише ключем, при цьому блокування скидається. Таке рішення виключає добір кодів будь-яким іншим електронним пристроєм з метою викрадення.



**Рисунок 5.1 - Блок-схема інформаційної системи водія**

Система зв'язку «автомобіль — дорога» забезпечує передачу повідомлень від

дорожніх інформаційних служб автомобілю на радіо. Система є інфраструктурою, що складається з прийомо-передатчиків невеличкої потужності на шляхах та засобів для генерації повідомлень. Локальний прийомо-передатчик має обмежений набір фіксованих повідомлень. Різні повідомлення може генерувати стаціонарний комп'ютер та передавати їх локальним точкам (наприклад, про затори на цьому маршруті). Прийомо-передатчики інформаційної системи можуть також автоматично отримувати повідомлення від автомобілів, що пересуваються поряд, за допомогою встановлених на них транспондерів.

Транспондер — це спеціальний автоматичний прийомо-передавач, який встановлено на рухомих об'єктах. У відповідь кодове посилення транспондер передає необхідну інформацію про об'єкт, на якому він встановлений. У авіації транспондери використовують для автоматичної передачі наземним службам параметрів руху літака. У автомобілях транспондери слугують для дистанційного стягування плати за проїзд по шосе, для отримання завантаженості вантажівок, що рухаються трасою і т. ін. Сервісні підприємства мають змогу дистанційно обмінюватися інформацією з бортовою діагностичною системою. У разі виявлення відхилень, водія попереджають відповідним текстом на дисплеї чи інформацією, що оброблена комп'ютером за певною програмою.

Цифровий аудіо-відео комплекс — CD-програвач, радіоприймач — мають загалом розважальне призначення.

Система передачі повідомлень на радіо використовує додатковий канал в УКХ-діапазоні, що потребує спеціального приймача. По радіоканалу передається різна попереджувальна інформація (зсуви, ожеледь). Є можливість передачі інформації, що коректується для даної місцевості, сигналами супутниковою глобальною позиціонуальною системою. Це дозволяє точніше визначити координати автомобіля від  $\pm 100$  метрів до  $\pm 5$  метрів.

Технології для організації такої інформаційної системи існують вже сьогодні. Потрібно лише створити доцільну та економічно виправдану інфраструктуру, а також систему генерації повідомлень.

### **5.1.1 Системи розпізнання голосу і перетворення тексту в мовлення**

Під час руху автомобіля користування стільниковий телефон чи комп'ютером ускладнене і небезпечне, тому що це відвертає увагу водія від дороги, особливо в напруженому русі в межах міста. Існує програмне забезпечення, що дозволяє розпізнавати мову людини. Водій промовляє у мікрофон, а комп'ютер виконує нескладні команди. Донедавна подібні системи могли розпізнавати один-два голоси після спеціального налаштування комп'ютера.

У концептуальному автомобілі Buick Bengal (General Motors) використовується програмне забезпечення фірми Visteon. Програма розпізнає 118 команд на шести мовах, включаючи місцеві акценти, в умовах відкритого і закритого салону. Водій, не випускаючи з рук керма і не відводячи погляду від дороги, голосом може подати різні команди, починаючи з управління режимом CD-програвача або кондиціонера і закінчуючи зміною швидкості руху автомобіля. Технологія управління голосом дозволить відмовитися від багатьох кнопок й індикаторів на приладовій панелі.

### **5.1.2 Бортовий комп'ютер**

Бортовий комп'ютер (іноді званий маршрутним чи дорожнім процесором) демонструє водієві різну інформацію, необхідну на маршруті, про стан автомобіля, керує

засобами зв'язку автомобіля з зовнішнім світом, з навігаційною системою і т. ін. Зазвичай бортовий комп'ютер подає інформацію на цифровий дисплей, керується з пульта управління на приладову панель автомобіля. На рис. 5.2 показаний пульт управління з рідкокристалічним дисплеєм одного з типів бортових комп'ютерів. Розпочато застосування і більш зручних кольорових графічних сенсорних дисплеїв з програмованими віртуальними органами управління (рис. 5.3). Випускаються портативні комунікатори і органайзери, які можна під'єднувати до шини даних автомобіля. Відповідне програмне забезпечення зробило їх частиною автомобільної інформаційної системи.

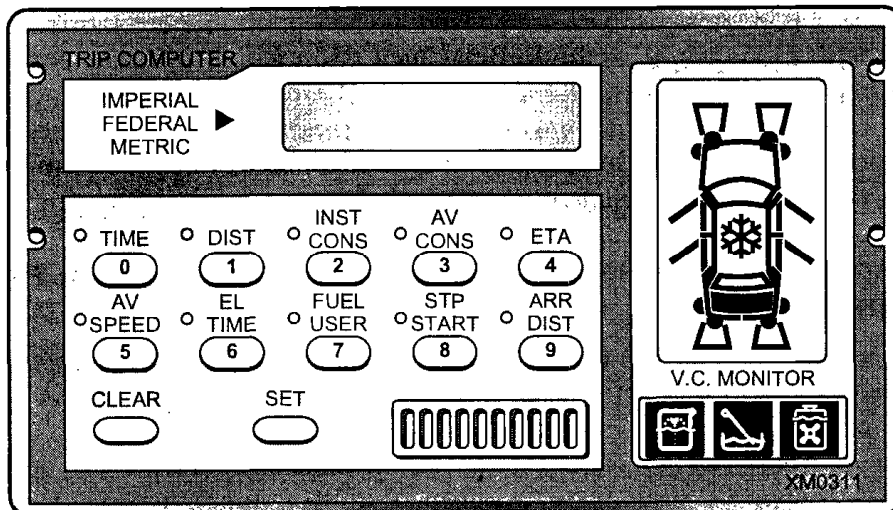


Рисунок 5.3 - Пульт керування бортовим комп'ютером



Рисунок 5.3 - Сенсорний дисплей

Усі послуги зв'язку, реалізовані в стаціонарному офісі, сьогодні доступні й у

автомобілі: факсиміле, автовідповідач, модем для комп'ютера і т. ін. Комп'ютер в автомобілі можна підключити до мережі Internet. Електронна пошта (e-mail) стає досяжною для водія. Завдяки підключенню через супутникову антену (direct PC) забезпечується висока швидкість передачі. Автомобіль перетворюється на офіс на колесах. Бортовий комп'ютер визначає точний час і дату, витрати палива (за сумою тривалості відкритого стану форсунок), швидкість і пройденої відстань. На дисплей зазвичай виводиться наступна інформація:

- час, день тижня і дата;
- середня швидкість на маршруті;
- час у дорозі;
- середня витрата палива на маршруті;
- миттєві витрати палива;
- витрати палива на маршруті;
- відстань, яку можна здолати на залишку палива.

Якщо під час виїзду на маршрут водій з клавіатури ввів відстань до пункту призначення, то бортовий комп'ютер повідомлятиме про очікуваний часу прибуття до пункту призначення та відстань, яка залишилась до пункту призначення.

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

Бортовий комп'ютер автоматично здійснює контроль за станом систем автомобіля, демонструє одержану інформацію на рідкокристалічній дисплей, наприклад, як показано на рисунку 5.2. Інформація подається у зручному графічному вигляді, якщо потрібно привернути увагу водія лунає звуковий сигнал або активується синтезатор мовлення.

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

- індикація несправності сигналів гальмування;
- індикація несправності освітлювальних приладів;
- індикація відкритої двері або кришки багажника;
- індикація низької температури навколишнього повітря;
- індикація низького рівня охолоджувальної рідини в двигуні;
- індикація низького рівня оливи в картері;
- індикація низького рівня миючої рідини в бачку змивача скла;
- індикація надмірного зносу гальмівних накладок.

Дисплей на рис. 5.2 показує, що у автомобілі відкриті чотири дверці, включені фари, температура забортного повітря низька (символ «сніжинка» на даху).

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

- в ланцюг живлення лампи послідовно під'єднаний низькоомний резистор, сигнал від якого посилюється і подається на компаратор. Під час обриву ланцюга струм зникає, що зумовлює низький рівень сигналу на виході компаратора і появу відповідної запобіжної інформації на індикаторі або дисплеї;

- у ланцюзі живлення лампи послідовно під'єднань обмотка геркона чи іншого струмового реле.

Температура навколишнього (забортного) повітря вимірюється термістром з негативним температурним коефіцієнтом. Він розміщується в закритих місцях, далеко

від джерел тепла, зазвичай за переднім бампером. Коли знижується температура, опір термістора зростає й після проходження рівня  $+4^{\circ}\text{C}$  на дисплеї з'являється попередження про можливу ожеледицю на дорозі.

Контроль за рівнем експлуатаційних рідин (оливи, гальмівної, охолоджувальної і миючої рідин) здійснюється за допомогою датчиків з урахуванням геркона і плавучого кільцеподібного магніту. Геркон розташовують у герметичному циліндрі, по якому переміщується пластиковий поплавець з кільцевим постійним магнітом.

За нормального рівня експлуатаційної рідини поплавець фіксується у верхньому положенні стопором, магніт замикає контакти геркона. Під час зниження рівня рідини нижче критичного поплавець опускається, контакти геркона розмикаються, на дисплеї з'являється відповідне попередження.

Рівень оливи у двигуні комп'ютер вимірює протягом кількох секунд до пуску двигуна, тому що рівень оливи в картері працюючого двигуна нижче контрольної мітки і коливається на поворотах і під час гальмування, що може спричинити генерацію хибних повідомлень комп'ютером. Стан електричних ланцюгів автомобіля постійно контролюється **ЕБУ**. Щоб можна було відрізнити закритий і відкритий стан геркона від пошкодження у ланцюгу датчика, у його ланцюг вводяться додаткові резистори.

Датчики зносу гальмівних накладок бувають двох типів: розмикаючий і замикаючий відповідний ланцюг. У розмикаючому датчику провід закладено у накладку на певну глибину, що становить максимально допустимий знос, у разі настання останнього провід перетирається і розмикає контрольований ланцюг. Датчик, що замикає в разі настання граничного зносу замикає контрольований ланцюг через гальмівний диск чи барабан на масу. Недоліком замикаючого датчика є ненадійність контакту, що утворюється під час гальмування.

## 5.2. Бортові кошти відображення інформації

Основним завданням будь-якого індикатора є надання інформації із заданої точністю і в зручному для водія вигляді. Більшість автомобільних індикаторів повинні оперативно видавати інформацію, що стосується точності, вимоги невисокі. Аналогові індикатори надають інформацію у вигляді, зручнішому для швидкого зчитування водієм. Наприклад, якщо стрілка покажчика температури охолоджувальної рідини перебуває у межах середини шкали, водієві досить погляду на покажчик, аби зрозуміти, що температура двигуна у межах норми. Цей приклад наочно демонструє, чому автомобілями, попри наявність контролерів та цифрової обробки інформації для керувати різними системами, частіше інформацію водієві надаються в аналоговій формі.

На рисунку 5.4 показані аналоговий та цифровий індикатори тої самої інформації (швидкість руху автомобіля).

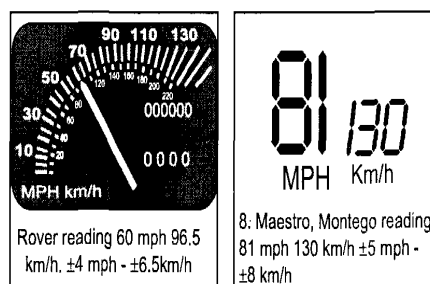


Рисунок 5.4 - Аналоговий та цифровий індикатори

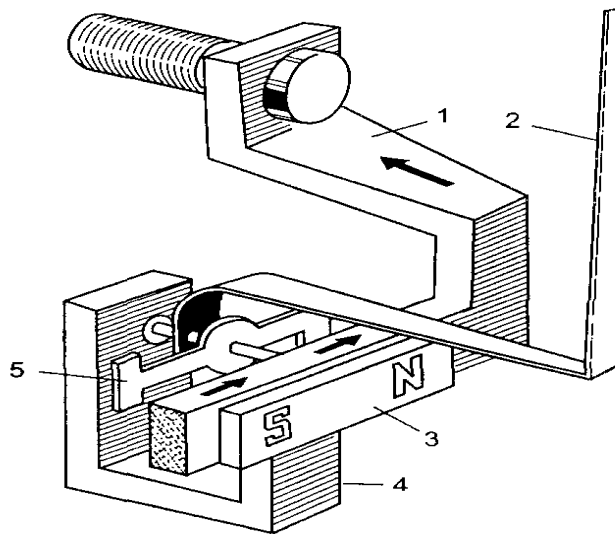
Цифрові і графічні індикатори (дисплеї) в автомобілі потрібні для вирішення, наприклад, таких завдань:

- надання картографічної інформації в навігаційних системах;
- дисплей бортового комп'ютера;
- годинник;
- дисплей магнітоли і т. ін.

Ці дисплеї можуть бути різної конструкції. Для управління окремими сегментами і частинами дисплеїв застосовується мультиплексна система передачі даних.

### 5.2.1 Стрілочні індикатори

Неелектричний параметр на борту автомобіля (швидкість, температура, тиск тощо) перетворюється відповідним датчиком в електричний сигнал. Цей сигнал фільтрується, піддається необхідним перетворенням і подається як електричний струм чи напруга на аналоговий (стрілочні) індикатор. Амперметр електромагнітної системи (рис. 5.5) складається з основи 4, постійного магніту 3, латунної шини 1, якоря 5 і стрілки 2. При розімкнутого ланцюга якір зі стрілкою під впливом магнітного поля постійного магніту утримується у середньому положенні на нульовій позначці. Під час проходження струму через латунну шину утворюється магнітне полі, під впливом якого намагнічений якір зі стрілкою повертається у той чи інший бік залежно від напрямку струму та на кут відповідний зміні параметру.



**Рисунок 5.5 - Стрілковий індикатор з що вимірюється значенням параметра електромагнітної системи**

### 5.2.2 Цифрові індикатори (дисплеї)

Цифрова система індикації працює багато в чому як і описана вище аналогова. Сигнали з датчиків надходять на **ЕБУ** панелі приладів у аналоговій чи цифровій формі. У **ЕБУ** здійснюється необхідна обробка отриманої інформації, потім вона передається на індикатори, задля цього можуть бути використані: світлодіоди, рідкокристалічні дисплеї, електронно-променеві трубки.

### 5.2.3 Індикатори на світлодіодах

Діод, зроблений із фосфіда арсеніду галію (GaAsP), під час протікання електричного струму у прямому напрямі утворюється електромагнітне випромінювання в світловому діапазоні. Це так звані світлодіоди, котрі випромінюють зелений, жовтий чи червоне світло залежно від технологічного процесу під час виробництва. Світлодіоди широко використовують як індикатори в електронному обладнанні й в цифрових дисплеях. Вони безвідмовно працюють тривалий час (більш 50000 годин) і споживають маленький струм. Нині є тенденція заміни автомобільних світлодіодних індикаторів на рідкокристалічні, які мають підсвічування для полегшення читання.

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

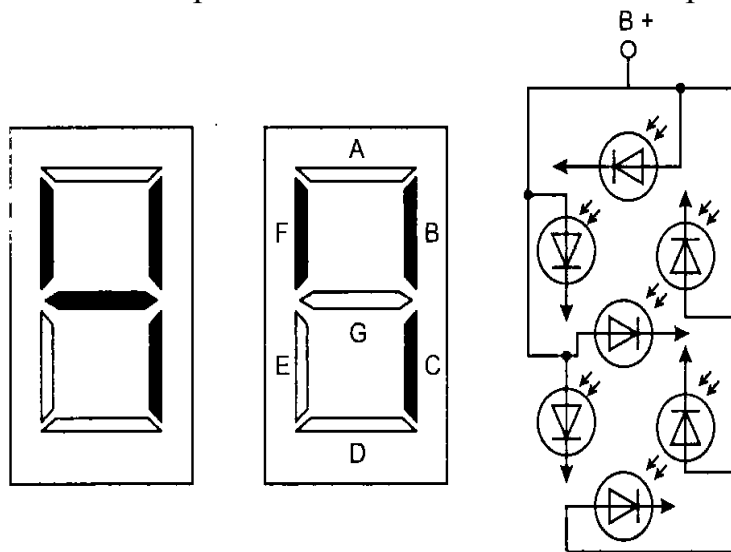


Рисунок 5.6 - Світлодіодні індикатори

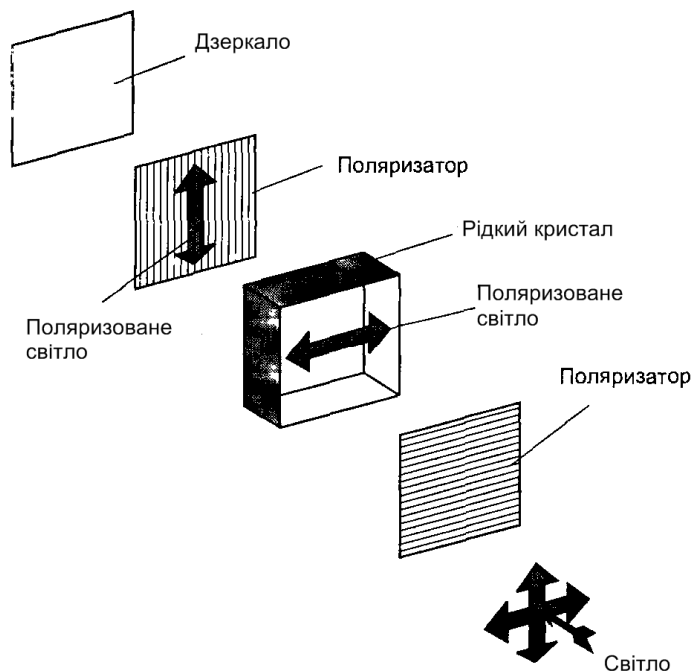
### 5.2.4 Рідкокристалічні дисплеї

Молекулярна структура рідких кристалів та їх оптичні властивості можуть бути змінені механічним зусиллям, електричного чи магнітного поля, тиску та температури. Рідкі кристали розсіюють світло, що падає на них. Рідкі кристали застосовують в індикаторах калькуляторів, годинників, автомобільних дисплеях, дисплеях портативних комп'ютерів, телеекранах, мультимедіа проекторах тощо.

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

Коли на рідкий кристал подано напруга порядку 10 В із частотою 50 гц, молекули його стають неупорядкованими і світло, проходячи через рідкий кристал, не буде повертатися на  $90^\circ$ .





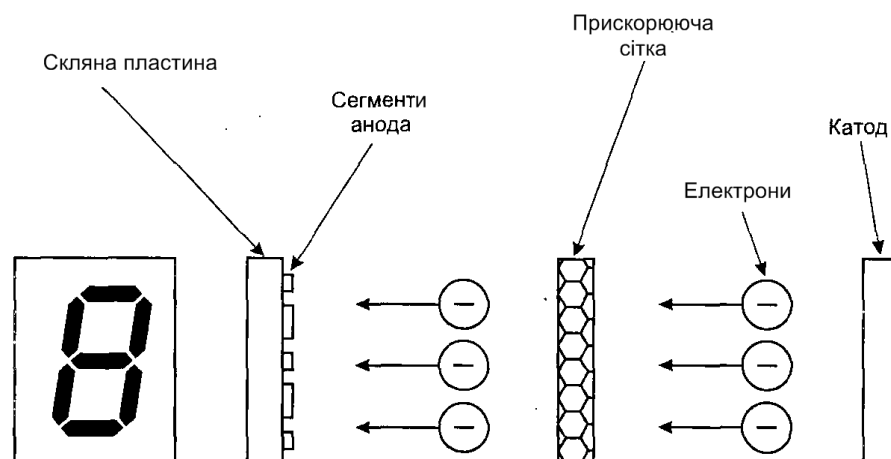
**Рисунок 5.7 - Принцип роботи рідкого кристала**

Це означає, що світло, після проходження першого поляризатора, не пройде другий і не відіб'ється. Тому на дисплеї буде видно темний сегмент. Розміри сегментів визначаються призначенням дисплея, наприклад, для дисплея комп'ютера або телеекрана сегмент набуває форму і розмір пікселя.

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

### 5.2.5. Вакуумні флуоресцентні індикатори

Схематично пристрій таких індикаторів показано на рисунку 5.8. Катод нагрівається до температури кілька сотень градусів і випромінює електрони, потік яких до аноду керується сіткою. Анод утворений сегментами, які покриті флуоресцентним матеріалом, на котрий подаються управляючі електричні сигнали. При подачі сигналу на сегмент він починає світитися.



**Рисунок 5.8 - Вакуумний флуоресцентний індикатор**

Уся конструкція зібрана у скляній колбі, з якої відкачано повітря до утворення вакууму. Потенціометром в ланцюзі сітки змінюють яскравість світіння індикатора. Індикатор світиться жовто-зеленим чи зеленою-зеленим-синьо-зеленим світлом залежно від застосованої флуоресцентної речовини.

Перевагою вакуумних флуоресцентних індикаторів є висока яскравість світіння, недолік — крихкість скляної колби.

### 5.2.6 Електронно-променеві трубки

Ці дисплеї не знайшли широко застосування в автомобілях. Їх основні недоліки:

- незручність монтажу на приладовій панелі через довгу катодну трубку;
- потрібен час для розігріву;
- зображення втрачає яскравість при освітленні сонячним світлом і т. ін.

На деяких моделях автомобілів (наприклад, Buick Riviera, 1986 р.) електронно-променеві трубки все-таки встановлювали. Сьогодні там, де потрібно демонстрація графічної інформації, наприклад, у навігаційних системах, застосовуються кольорові рідкокристалічні дисплеї.

### 5.3. Приладові панелі

Водій отримує інформацію про режим руху і технічний стан автомобіля з допомогою контрольно-вимірювальних приладів та індикаторів, які розміщені на панелі приладів. Панель приладів сучасного легкового автомобіля містить 3 -6 стрілкових приладів та 5 - 7 світлових індикаторів, які розміщені за наступними принципами:

- у центрі панелі групуються засоби відображення інформації, пов'язані із безпекою дорожнього руху;
- розміщення приладів та індикаторів тим ближче до центру панелі, чим частіше звернення до них водія;
- групування в блоки функціонально пов'язаних приладів та індикаторів.

Електронні індикатори, крім функцій, які виконували електромеханічні прилади, здатні надавати водієві інформацію у цифровій, графічній і текстовій формах. На рисунку 5.9 показана типова панель приладів сучасного автомобіля. Вона компактна, усе перебуває у полі зору водія. Якість дизайну приладової панелі враховується покупцем автомобіля.

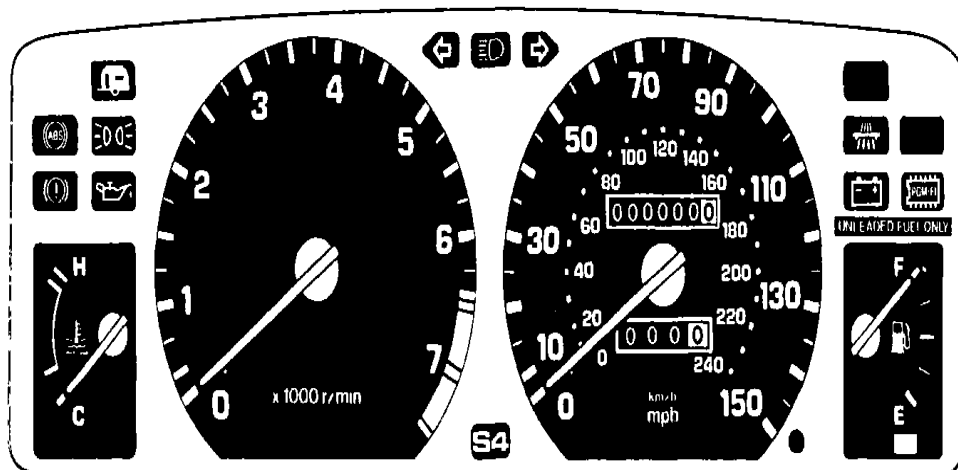
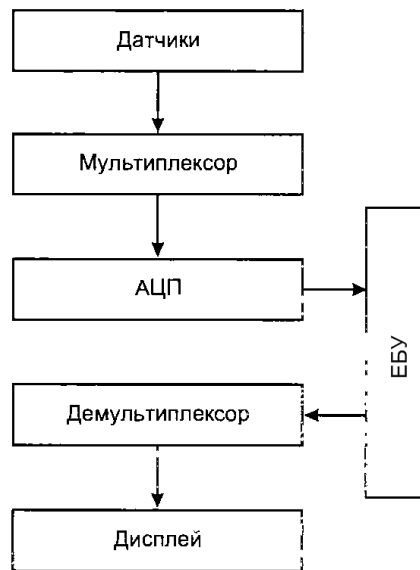


Рисунок 5.9 - Приладова панель сучасного автомобіля

Варто зазначити, що з цифрових дисплеїв погано сприймається водіями. Виникли й дедалі частіше використовуються електронні аналогові дисплеї, але де вони збільшують ціну автомобіля на 200...400 доларів.



**Рисунок 5.10 - Типова блок-схема сучасної цифрової автомобільної системи відображення інформації.**

На рисунку 5.10 показана типова блок-схема сучасної цифрової автомобільної системи відображення інформації. Обробка сигналу і логічні функції покладено на ЕБУ. Стандартні датчики під'єднані до ЕБУ, який управляє необхідними пристроями відображення інформації та дисплеєм. ЕБУ допускає зміну конфігурації системи під конкретну модель автомобіля.

► Розглянемо деякі з функцій:

1. Коли опір резистивного датчика рівня палива на баку набуде певне значення, засвітиться індикатор низького рівня палива.

2. При заданому значенні опору термістора засвітиться індикатор перегріву двигуна.

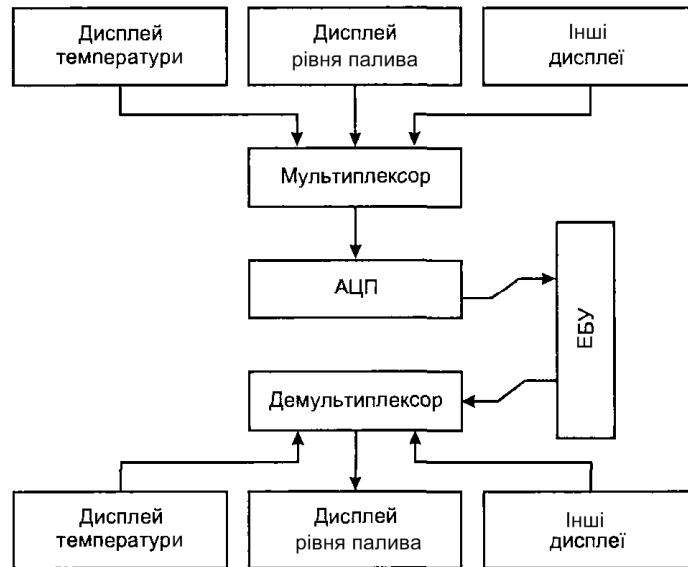
Зазвичай не потрібно інформувати водія про кожен градус зміни температури в системах автомобіля, постійні флуктуації у показниках приладів уповільнюють засвоєння інформації. ЕБУ розбиває діапазон зміни вхідного сигналу термодатчика на 4–6 піддіапазонів. Наприклад, якщо опір термістора змінюється у межах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

4. Індикатори, що попереджують, (такими є індикатори тиску оливи) робляться миготливими для привертання уваги водія.

5. Індикатори, що попереджують про необхідність техобслуговування і техогляду (характерна риса автомобілів BMW). Індикатори світяться після певного пробігу або за певний час, який скорочується за умови роботи двигуна на високих обертах та з перегрівом.

6. Індикатор позаштатної роботи генератора. ЕБУ виявляє невідповідність рівня напруги, яку виробляє генератор до ковзання привідного ремня. Ковзання визначається шляхом порівняння частот сигналу запалювання і напруження з однією з фаз генератора.

► Як приклад розглянемо роботу системи на час появи сигналів про високу температуру охолоджувальної рідини і низький рівень палива у бензобаку. На рисунку 5.11 показана блок-схема система цієї процедури. АЦП підключається через мультиплексний комутатор почергово до датчиків температури та рівня палива. Сигнал піддається аналого-цифровому перетворенню і надходить у ЕБУ. Припустимо, що сигнали мають значення 180 Ом (температура охолоджувача близько 105 °С) і 200 Ом (залишилося 10 літрів палива у баці). Ці значення присвоюються відповідним змінним «temp\_input» і «fuel\_input» та порівнюються з константами «temp\_high» і «fuel\_low», що зберігаються у пам'яті ЕБУ. Порівняння здійснюється за таким спрощеним алгоритмом:



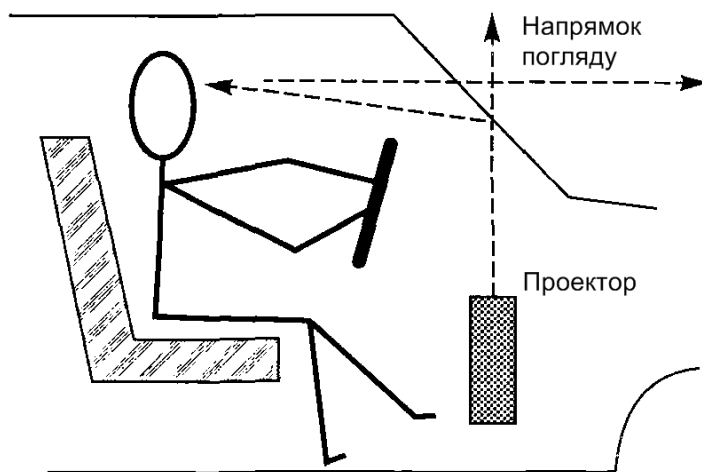
**Рисунок 5.11 - Блок-схема цифровий системи відображення інформації**

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

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

За виконання умови загоряється відповідний індикатор.

#### 5.4. Відображення інформації на лобовому склі



**Рисунок 5.12 - Відображення інформації на лобовому склі**

При користуванні автомобільними приладами й дисплеями завжди існує наступна

проблема: з одного боку, водій повинен якомога менше відводити погляд від дороги з метою безпеки, з іншого — якщо на прилади взагалі не дивитися, можна пропустити попереджувальну інформацію, наприклад, про низький тиск оливи і т. ін. Є шляхи вирішення цієї проблеми, такі як подача звукових сигналів, розміщення приладів завжди у полі зору, але досконалішим методом сьогодні вважається відображення інформації на лобовому склі (head up display або HUD). Передусім ця технологія була використана в авіації, коли конструктори зіштовхнулися із необхідністю розміщення до 100 попереджувальних індикаторів у кабіні винищувача. Принцип відображення інформації на лобовому склі проілюстровано на рисунку 5.12.

Зображення з проектора (електронно-променевої трубки, рідкокристалічна матриця) проектується на вітрове скло, яке після спеціальної обробки стає напівпрозорим дзеркалом. Водій бачить дорогу це «скло-дзеркало» при включеному чи вимкненому проекторі. Яскравість проекції зображення автоматично підлаштовується під зовнішнє освітлення. На рисунку 5.13 показана система HUD у роботі.



**Рисунок 5.13 - Вигляд через вітрове скло автомобілі з HUD**

На жаль, потрібно індивідуально обирати переднє скло, інакше виникає двоїння і зображення на склі виходить нечітким. На деяких серійних автомобілях HUD діє з 1988 року.

Яку саме інформацію і коли виводити на лобове скло, вирішує бортовий комп'ютер залежно від ситуації. Наприклад, можна буде робити проекцію спідометра постійно, а індикатор низького тиску палива, як тільки ця подія станеться.

Сучасні системи HUD виводять інформацію прямо перед водієм. У якості дисплеїв попереджувальної інформації можна також використовувати рідкокристалічні дзеркала заднього виду, які автоматично змінюють коефіцієнт відображення в темну пору доби при освітленні фарами автомобіля, що рухається ззаду.

### **5.5 Перспективні засоби відображення інформації**

Завдяки комп'ютеризації всіх автомобільних систем дедалі більше функцій стають доступними. Вже сьогодні є змога регулювати потік інформації водієві, тобто на той самий дисплей виводити різні дані, необхідні водієві саме у цей момент. Яка саме інформація у конкретній ситуації потрібна водієві, визначає програмне забезпечення комп'ютера, але водій може викликати потрібні йому блоки даних на дисплей самостійно. Наприклад, якщо температура охолоджувальної рідини перебуває у нормі, не потрібно виводити показники на дисплей, хіба водій сам захоче у цьому переконатися.

Якщо на дисплей виведена відстань, яку може пройти автомобіль з наявним запасом

палива, то нема потреби демонструвати кількість палива в баку і т. ін.

Комп'ютер за необхідності може перервати нормальний процес виведення інформації та згенерувати на дисплей попередження на кшталт: «палива залишилося тільки на 50 км пробігу» чи «впав тиск у лівій задній шині».

Застосування програм синтезаторів мовлення дозволяє робити такі повідомлення голосом, до того ж водій може встановити бажані параметри голосу: чоловічого чи жіночого, високого чи низького тощо. Щоб привернути увагу водія використовують і простіші звукові сигнали.

## **5.6. Навігаційні системи автомобіля**

Перші навігаційні системи призначались лише для індикації розрахункового часу прибуття у пункт призначення і відстані до нього й використали датчики азимута і швидкості обертання коліс. Пізніше почали використовуватися бази даних із картографічної інформацією, з'явилася можливість визначати поточні координати автомобіля на карті місцевості, відомі кілька методів.

Механічні прототипи навігаційних систем з'явилися у США в 1910 році, коли автомобілі почали випускати у великих кількостях, а дороги ще не були розмічені. Наприклад, у навігаційній системі Chadwick Road Guide металевий диск з отворами обертвся одночасно з пройденим шляхом. Отвори відзначали перехрестя на маршруті. До доріжок на диску пружинами притискалися спеціальні молоточки. Влучаючи молоточка в отвір пристрій видавав дзвінок, і спеціальний важілець з кодованим символом вказував водієві, як необхідно діяти. Точність і надійність таких навігаційних систем були низькими, їх перестали використовувати після стандартизації дорожніх знаків в 20-х роках та запровадження розмітки доріг.

У 60-ті роки автомобільні компанії знову почали виявляти інтерес до навігаційним системам. У 1987 році Toyota почала їх встановлювати на серійні моделі як опцію. У 1994 році у США, Європі, Японії вже було продано більше 500000 автомобільних навігаційних систем.

### **5.6.1 Функції, структура і складові компоненти навігаційної системи**

На рисунку 5.14 показана структура навігаційної системи. Система може здійснювати навігаційне обчислення, визначати місце знаходження автомобіля на карті місцевості за конфігурацією пройденого шляху, визначати абсолютні координати за допомогою супутникової системи GPS (глобальна позиціонована система чи GPS — Global Positioning System). За допомогою навігаційного обчислення визначають відносне місце знаходження автомобіля і напрям руху за інформацією, яку отримано з датчиків швидкості обертання коліс і азимута.

Конфігурація ділянки здоланого шляху, яку отримано за допомогою навігаційного обчислення, порівнюється з конфігурацією доріг нанесених на карті. Після визначення шляху, яким рухається автомобіль, система знаходить її поточні координати. Точніше визначення координат автомобіля на карті здійснюється за допомогою GPS за широтою і довготою. Вважається, що задля практичних цілей достатньо знати координати автомобіля з точністю до розміру половини кварталу, тобто  $\pm 100$  метрів.

Автомобільна навігаційна система повинен мати у своїй комплектації датчики пройденого шляху й напрями руху. Датчик пройденого шляху — це та чи інша конструкція електронного одометра, до якого інформація надходить з датчиків

швидкості обертання коліс ABS. Одометрам притаманний ряд систематичних похибок, які потрібно коригувати. До них належать:

1. Різниця у діаметрах нової і зношеної покритки дає похибку у визначенні пройденої дистанції до 3%.
2. За рахунок збільшення діаметра покритки через відцентрову силу на кожні 40 км/год швидкості автомобіля похибка у визначенні пройденої дистанції збільшується на 0,1...0,7%.

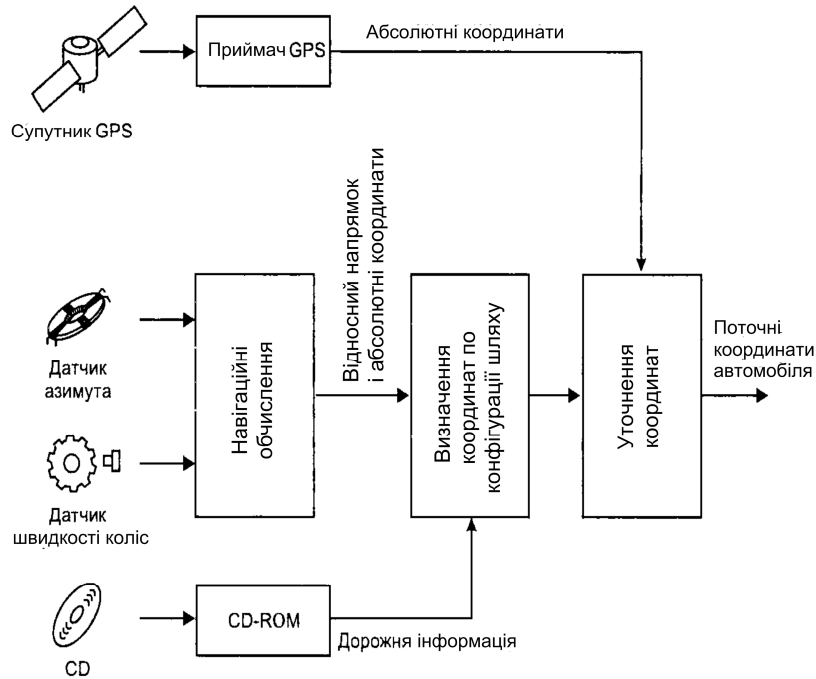


Рис. 5.14. Структура навігаційної системи

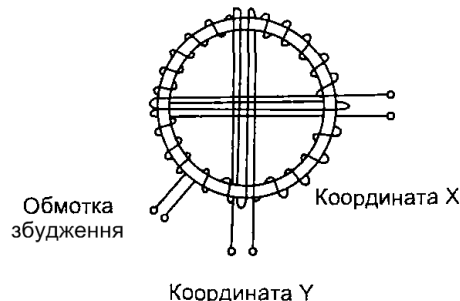
### Рисунок 5.14 - Структура навігаційної системи

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

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

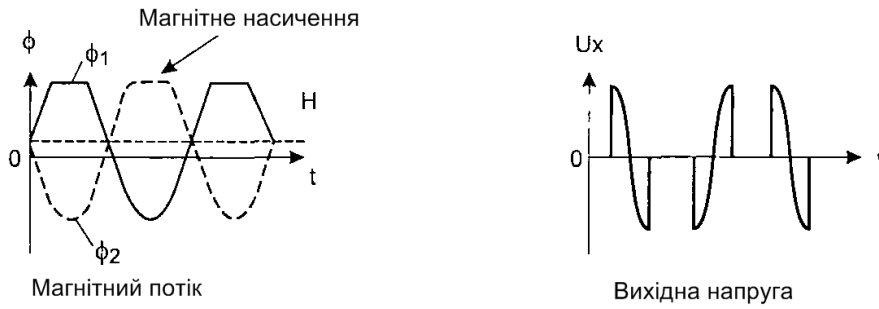
#### 5.6.2 Датчик азимута (компас)

Датчик азимута використовує магнітне поле Землі та являє собою кільцевий сердечник з ферромагнетика, на який намотані обмотка збудження та перпендикулярно одна одній дві вихідні обмотки (рисунок 5.15).



До обмотки збудження підведена синусоїдальна напруга. За відсутності зовнішнього магнітного поля у вихідних обмотках наводиться ЕРС взаємоіндукції, також синусоїдальна, із нульовим середнім значенням. За наявності постійного зовнішнього магнітного поля напруженістю  $H$  (магнітне полі Землі) відбувається спотворення синусоїдальної форми магнітного потоку в сердечнику за допомогою накладання

постійної складової та напруг вихідних обмоток (рисунок 5.16).



**Рисунок 5.16 - Електромагнітні процеси в геомагнітному датчику азимута у присутності зовнішнього магнітного поля Н**

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

$$V_x = k \cdot H \cdot \cos \theta,$$

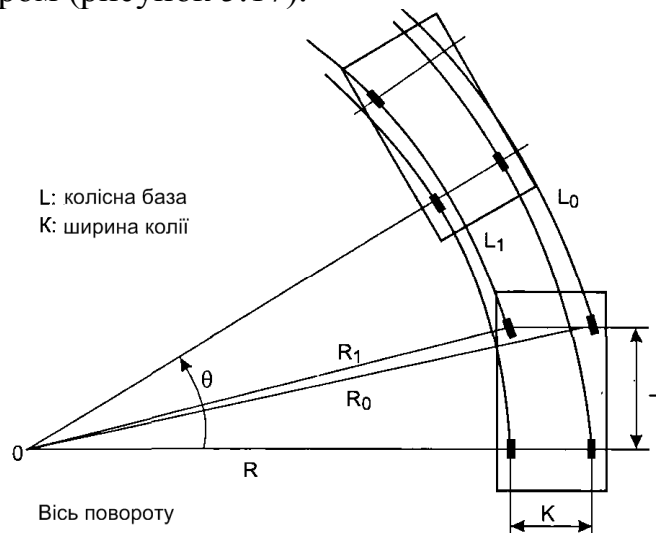
$$V_y = k \cdot H \cdot \sin \theta,$$

де:  $k$  — коефіцієнт пропорційності. Отже  $\theta = \arctg\left(\frac{V_y}{V_x}\right)$ , тобто напрям руху автомобіля визначено.

Сучасні датчики азимута випускаються в інтегральному виконанні.

### 5.6.3 Датчик швидкості обертання коліс

Використовуються датчики швидкості обертання передніх коліс, які застосовуються й для ABS. Кут повороту автомобіля визначається різницею шляхів, що проходили при повороті лівим і правим колесом. Коли автомобіль повертається на кут  $\theta$  радіан з радіусом повороту  $R$ , шляхи, що пройдено лівим і правим колесами, описують дуги із загальним центром (рисунок 5.17).



**Рисунок 5.17 - Шляхи, що проходить правим і лівих колесом при повороті**

Шляхи, пройдені лівим і правим передніми колесами, різняться і становлять:  $L_1 = R_1 \theta$  і  $L_0 = R_0 \theta$ . Радіуси цих дуг мають один цент і визначаються формулою:

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

де:  $L$  - колісна база,

$K$  - ширина колії.

Введемо  $P$  - співвідношення довжин шляхів коліс на повороті:



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

Здійснимо математичне перетворення, і отримаємо:

$$R_0 = \frac{K + \sqrt{K^2 - (P^2 + 1)(P^2 - 1)L^2 - K^2}}{P^2 - 1}.$$

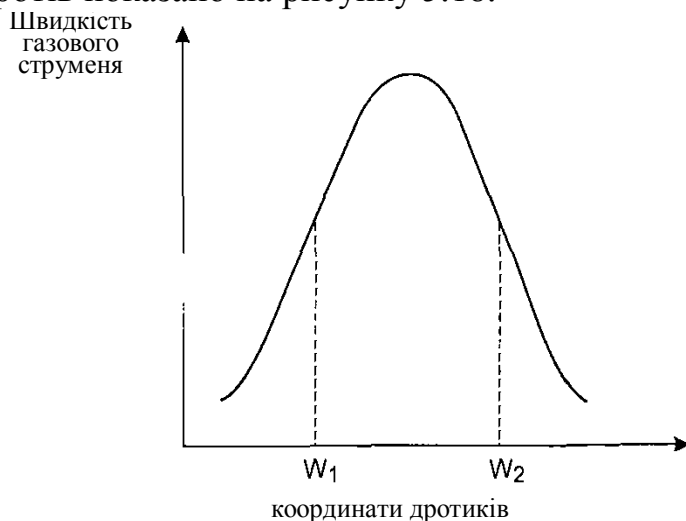
Колісна база  $L$  і ширина колії  $K$  відомі для цього автомобіля, шляхи правого і лівого коліс вимірюють за допомогою датчиків швидкості обертання коліс. Тоді кут повороту  $\theta$  обчислюється за такою формулою:  $\theta = \frac{L_1}{R_1} = \frac{L_1}{\sqrt{R^2 + L^2}}.$

Якщо додати всі поворотні кути, можна знайти й кут повороту автомобіля для заданого шляху від стартової точки:  $\theta_n = \sum_{i=1}^n \theta_i.$

#### 5.6.4 Гіроскоп

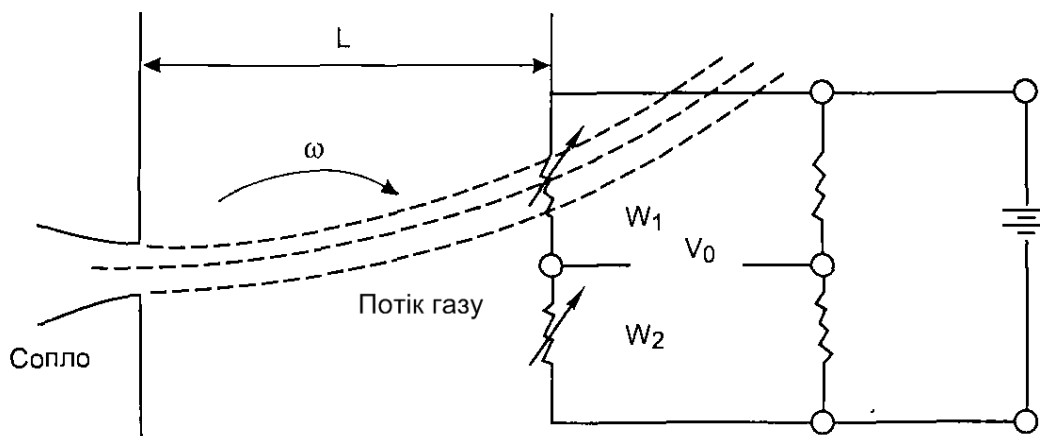
За допомогою гіроскопа визначається кутова швидкість автомобіля на повороті і інтегрується для обчислення кута повороту. У навігаційних системах використовуються різні типи гіроскопів, тут розглядається застосування газового гіроскопа.

Пристрій працює у такий спосіб. Насос створює струмінь гелію із швидкістю потоку і спрямовує його через сопло на дві нагріті дроти датчика. Кутова швидкість автомобіля визначається за зміною опорів дротів датчика. Коли струмінь гелію виходить із сопла насоса, він поступово розширюється. Розподіл швидкостей у струмені газу за перерізом біля дротів показано на рисунку 5.18.



**Рисунок 5.18 - Розподіл швидкостей серед газу**

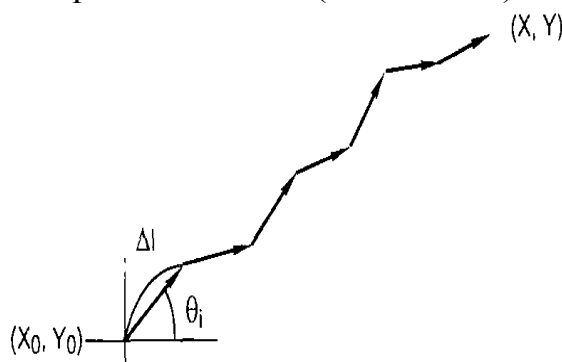
Коли автомобіль рухається прямо, розподіл швидкостей симетрично відносно дротів, вони охолоджуються однаково і на виході мостової схеми, складовою якої є дроти, створюється нульова напруга (рисунок 5.19). Під час повороту виникає сила Кориоліса, яка змінює газовий струмінь, дроти охолоджуються нерівномірно, їх опір електричному струмові різний, тому на виході мостової схеми з'являється напруга, яка пропорційна кутовій швидкості автомобіля на повороті.



**Рисунок 5.19 - Вимірювальна схема**

### 5.7 Навігаційне числення

Навігаційне обчислення — це метод визначення координат рухомого об'єкта (автомобіля, літака, судна тощо) відносно стартової точки. Використовується сума векторів пройдених відстаней, інформація про напрямки надходить із датчика азимута чи датчика швидкості обертання коліс. На рис. 5.20 показано застосування навігаційного обчислення до визначення координат об'єкта (автомобіля).



**Рисунок 5.20 - Визначення координат автомобіля методом навігаційного числення**

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

$$X_n = X_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \sin \theta_i, \quad Y_n = Y_0 + \sum_{i=1}^n \Delta l \cos \theta_i,$$

рівнянь:

Отже, поточні координати автомобіля можна визначити, якщо відомо розташування стартової точки над картою. Напрямок руху автомобіля зазвичай визначається по феромагнітному датчику азимута (компасу). Корпус автомобіля виконано із металу та інших магнітних матеріалів і може намагнітяться зовнішніми полями (наприклад, у магнітному полі, яке утворює електродвигун електровоза на залізничному переїзді тощо). У таких обставинах виникає систематична похибка під час визначення напрямку руху автомобіля. Паразитне магнітне поле компенсують додаткові магніти, що розташовані поблизу компаса.

Для автомобіля доводиться коригувати координати, певним методом навігаційного числення кожні 10...15 км. На щастя, автомобілі зазвичай пересуваються дорогами, які зазначені на карті.

## 5.8. Електронні карти

У деяких навігаційних системах картографічна інформація зберігається централізовано і передається на автомобіль радіоканалом, але переважно навігаційна система передбачає наявність необхідної бази даних на борту автомобіля.

CD-ROM використовується для зберігання картографічної та дорожньої інформації з метою порівняння конфігурацій доріг та пройденого шляху, пошуку оптимального маршруту, виведення карти місцевості на дисплей. Значна ємність CD (до 600 МБ) дозволяє це робити. Картографічна інформація чи електронні карти перебувають у двох основних форматах: матричному і векторному. У матричному форматі кожному елементу карти (пикселю) відповідають свої значення декартових координат  $X - Y$ . Матричні карти вимагають великих об'ємів пам'яті комп'ютера чи носія інформації та незручні для математичних операцій під час прокладання і дотримання цього маршруту.

У векторному форматі дороги, вулиці представлені послідовностями відрізків прямих, описаних аналітично, перетини — вузлами (рис. 5.21). Вузли ідентифікуються координатами — довготою і широтою. Якщо дорога (вулиця) не пряма, то у точці зламу також позначається вузол. Отже, дороги (вулиці) будь-якої конфігурації апроксимуються набором векторів та вузлів.

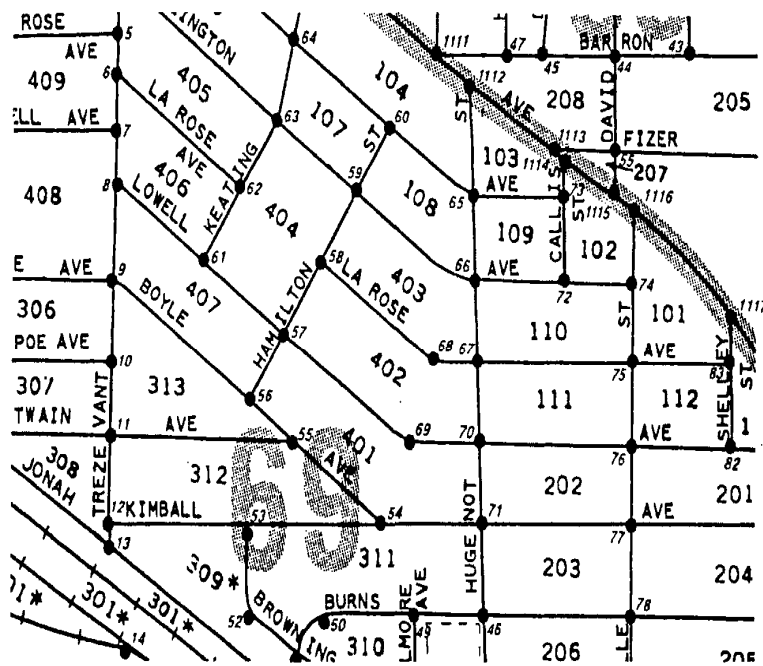


Рисунок 5.21 - Вулиці і вузли на векторній карті

Наявні карти чи зображення місцевості, отримані з літаків і супутників, скануються. Потім спеціальне програмне забезпечення трансформує зображення спочатку у матричний, потім у векторний формат. Електронна карта несе таку інформацію, як номери доріг, назви вулиць, номери будинків між перехрестями, односторонній чи двосторонній рух на вулиці, назви готелів, ресторанів тощо.

### 5.8.1 Орієнтування на карті місцевості за конфігурацією пройденого шляху

Цей метод дозволяє визначити чи уточнити поточні координати автомобіля порівнянням конфігурацію пройденого шляху (його ділянки), отриманого навігаційним обчисленням з конфігурацією дороги, якою рухається автомобіль. На рис. 5.22 показано,

як порівнюються і коригуються шляхи, отримані навігаційним обчисленням з картою.

Спочатку навігаційна система визначає, координати яких найближчих доріг можуть відповідати координатам автомобіля, положення якого визначено за навігаційним обчисленням.

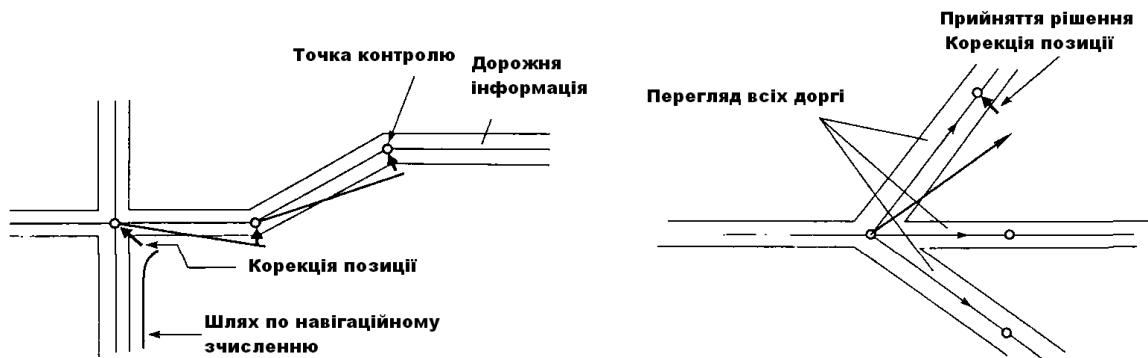


Рис. 5.22 Коректування шляху

Рис. 5.23 Вибір шляху на перетині доріг

### 5.8.2 Вибір оптимального маршруту

Крім визначення поточних координат автомобіля, навігаційна система також може видавати інформацію, яка полегшує вибір оптимального шляху до місця призначення. Для цього навігаційний комп'ютер аналізує мережу шляхів між вихідним пунктом і пунктом призначення та обирає найкоротший маршрут. Прикладом методу визначення найкоротшого шляху за картою є алгоритм Дейкстра (Dijkstra algorithm).

У алгоритмі Дейкстра здійснюється визначення всіх перетинів шляхів від стартової точки і обчислюється найкоротший шлях до кожної точки перетину. Наприклад, якщо є дорожня мережа, як у рис. 5.24, а, пошук перехресть розпочнеться від початкової точки А, як показано на рис. 5.24, б. Спочатку розглядатимуться перехрестя В і С. Відстані від точки А кожного з перехресть вказані всередині кружечків. Потім розглядаються перехрестя Е і F, з'єднані з точкою С, для цих перехресть зазначено відстані до стартової точки А (рис. 5.24, б (2)). По-третє, розглядаються перехрестя D та Е, які з'єднані з точкою В, на рис. 5.24, б (3) вказані відстані від стартової точки А до D та Е. У цьому випадку відстань до точки Е зазначено через точку С, тому що воно менше, ніж через D (було б 8).

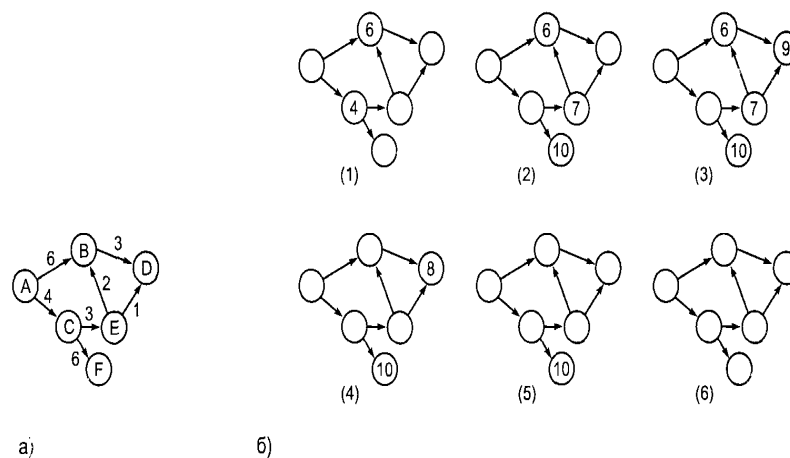


Рисунок 5.24 - Алгоритм Дейкстра

Точка D пов'язана з точкою E, і маршрут через E виявляється коротшим, це відображено на рис. 5.24, б (4). Найкоротшим шляхом до D виявляється маршрут А-С-Е-

Д. Отже для дорожньої мережі можна визначити найкоротший маршрут до кожного з перехресть (жирні лінії на рис. 5.24, б (6)).

Використання цього алгоритму дозволяє визначити найкоротший маршрут до місця призначення. Маючи сучасної навігаційної системою, водій може не побоюватися збитися зі шляху.

Навігаційна інформація повідомляється водієві у різні способи: від вказівки символом положення на карті місцевості до команд голосом через синтезатор мовлення про необхідність повернути наліво чи направо.

### 5.9 Супутниковий позиціонована система GPS

Система GPS (рис. 5.25) може бути використана у визначенні абсолютних координат автомобіля. Воно складається з 18 основних та 3 додаткових супутників на навколосеземних орбітах (радіус 20183 км, період обертання 12 годин), запущених міністерством оборони США період із 1980 по 1992 рік (програма NA-VSTAR), і покликана надавати інформацію про абсолютні координати різноманітним об'єктам: морським суднам, літакам, ракетам, військовим підрозділам, автомобілям й т. ін. На супутниках встановлено атомні годинник, які періодично на Землю посилають сигнали з інформацією про системний час та параметри орбіти з частотою 1,57542 ГГц.

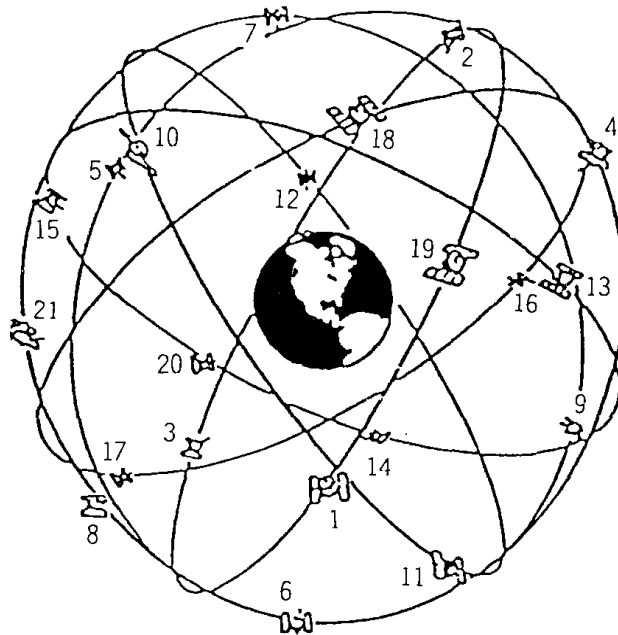
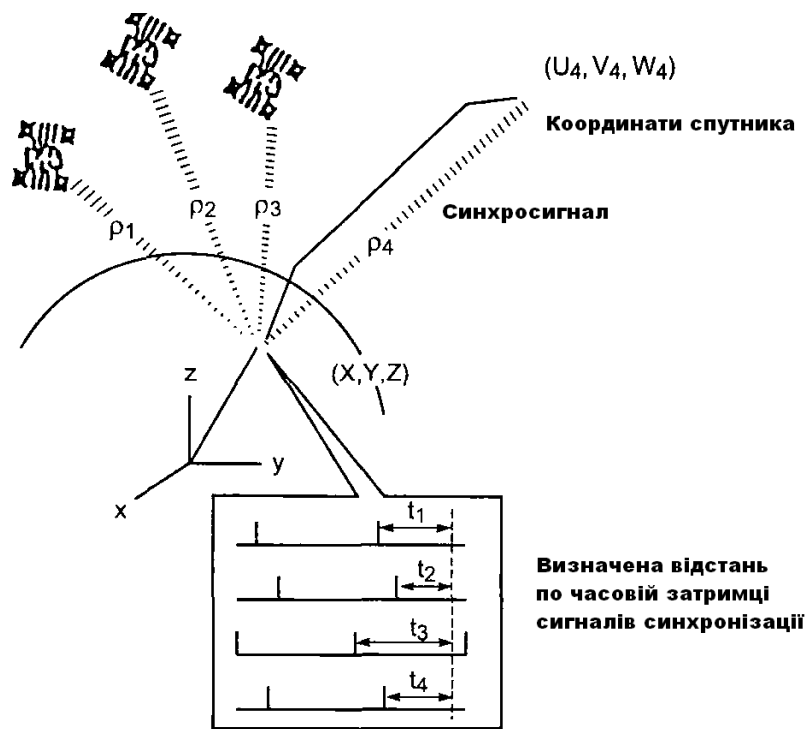


Рисунок 5.25 - Супутниковий система NAVSTAR

Користувачі обслуговуються системою GPS за двома категоріями: точне визначення координат (Precise Position Service — PPS) — для військових та стандартна точність визначення координат (Standard Position Service — SPS) — для інших категорій користувачів, зокрема й у автомобільній навігації. Теоретично досяжна точність визначення координат з помилкою до 100 м, на практиці координати визначаються з більшою точністю — до 30 метрів. Координати приймача (X, Y, Z) і супутника (U<sub>i</sub>, V<sub>i</sub>, W<sub>i</sub>) пов'язані співвідношенням:

$$P_i = \sqrt{(X - U_i)^2 + (Y - V_i)^2 + (Z - W_i)^2} + R.$$

Де  $P_i$  — відстань між супутником і приймачем,  $R$  — тимчасова помилка, що виникає через неможливість точно синхронізувати атомні годинники супутника і кварцовий генератор приймача.



**Рисунок 5.26 - Визначення координат з допомогою GPS**

Отже, якщо відомі координати  $(U_i, V_i, W_i)$  чотирьох супутників (рис. 5.26) і відстані від супутників приймача  $P_i$ , то розв'язок чотиримірною нелінійного рівняння визначає координати приймача  $(X, Y, Z)$ .

Вважають, що навігація з допомогою GPS є найперспективнішою, але є й недоліки:

1. Під час першого звернення початкові координати визначаються відносно довго — 2...3 хвилини. У подальшому інформація оновлюється набагато швидше, протягом кількох секунд.
2. Система працює в умовах прямої видимості із чотирьох супутників. Гори й високі будинки можуть становити перешкоду.

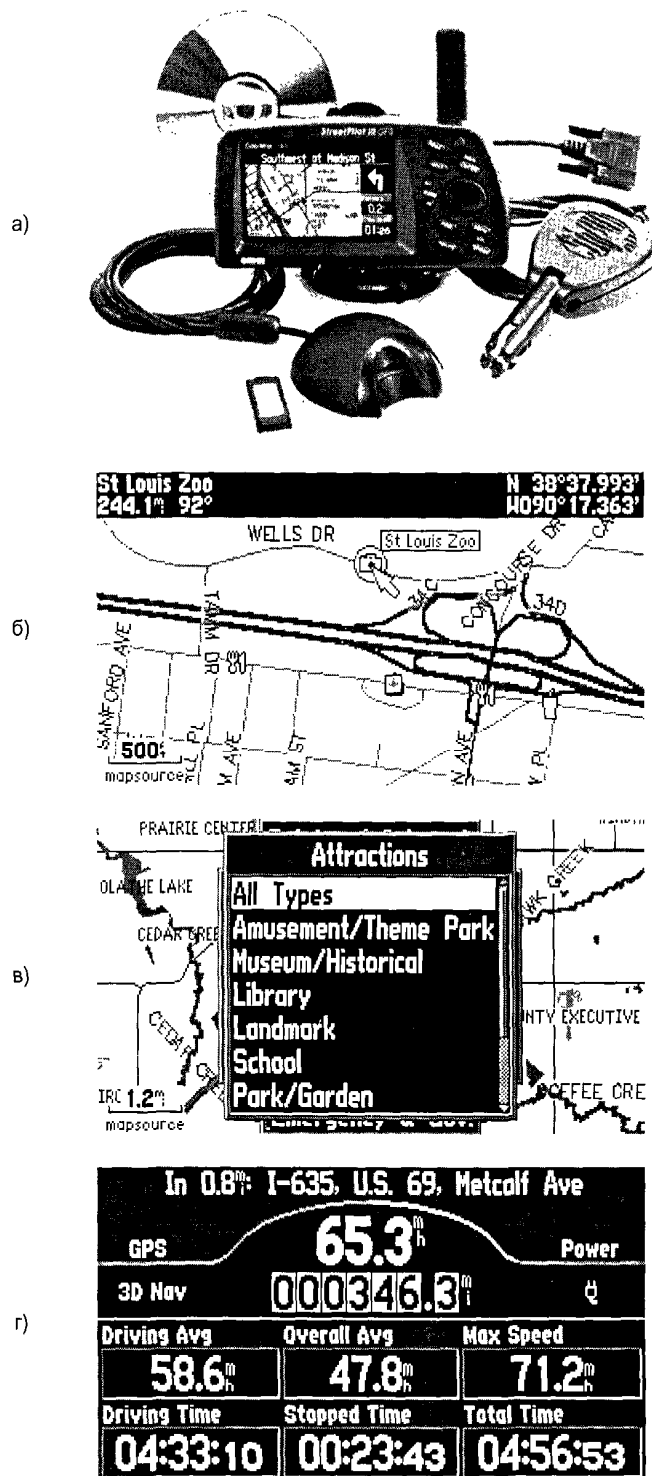
### 5.10 Приклади автомобільних навігаційних систем

У середині 1980-х років було випущена перша автомобільна навігаційна система Etak Navigator, яку виробляли серійно. У ній були використані електронні векторні карти доріг на дисках ємністю 3,5 МБ, навігаційне обчислення, алгоритм орієнтування на карті за конфігурацією пройденого шляху, дисплей. Як датчики були використані диференціальний одометр і компас.

Travelpilot було виконано 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 решти пристроїв, наприклад рації. Диспетчери Лос-Анджелеса за допомогою системи Travelpilot по рації вводили екіпажам 400-ам пожежним автомобілям і швидким допомогам координати пунктів призначення. Прототипи навігаційної системи Zexel NavMate випробовувалися ще 1990 року. Орієнтування здійснювалось за пройденим шляхом, за навігаційним обчисленням і електронними картами. У 1994 року у NavMate вмонтували приймач GPS. Комбіноване використання навігаційного обчислення, електронної карти, орієнтування за конфігурацією пройденого шляху забезпечують точність визначення позиції автомобіля  $\pm 30$  м (лише GPS дає точність  $\pm 10$  м).

Система NavMate під іншими назвами (TetraStar, NeverLost, GuideStar) випускалася

різними виробниками (GM, Ford, Siemens Automotive) й встановлювалася у якості опції як на автомобілі від виробника, так і у автопарках фірм, які надають автомобілі в аренду (Avis Rent A Car, Hertz). Картографічна інформація (по США) для NavMate зберігається на дев'яти PC-картах і включає інформацію про дороги, вулиці, номери будинків, цікаві місця, магазини, лікарні тощо.



**Рисунок 5.27 - Автомобільна навігаційна система Garmin StreetPilot III:**

а — загальний вигляд системи Garmin StreetPilot III;

б — дисплей в навігаційному режимі;

в — режим вибору пункту призначення;

г — дисплей як маршрутного комп'ютера 114

Мета поїздки задається як адреса: за вулицею, перехрестям, об'єктом інтересу.

Можна вводити умови, за якими потрібно прокласти маршрут, наприклад, уникнення швидкісних трас. Інформація водієві подається на 4-дюймовий кольоровий рідкокристалічний дисплей у вигляді карти зі стрілкою, яка показує місце знаходження. Є підказка голосом про наближення до повороту. У 1998 року Zexel випустив модернізований варіант NavMate. Картографічна інформація зберігається на трьох CD-ROM, користувач може вносити потрібні об'єкти у персональну адресну книгу.

Система Garmin StreetPilot III (рис. 5.27) має кольоровий дисплей розміром 8,6x4,5 см роздільною здатністю 305 x 160 пікселей, підказки водію здійснюються голосом, картографічна інформація зберігається на CD-ROM, похибка визначення координат менше 15 м. Пристрій під'єднується до автомобільної бортової мережі живлення 12 В або живиться автономно від батарейок. Природно, що приймач системи ефективно працює лише за умов прямої видимості достатньої кількості супутників.

Garmin StreetPilot III може працювати і як маршрутний комп'ютер.

### **5.11 Системи охоронної сигналізації і протиугінні устрою**

Автомобілі раз у раз женуть, причому третина їх зазвичай так ніколи й не знаходять. Приблизно 25% від загальної кількості злочинів однак пов'язані з автомобілями. Більша частина випадків становлять крадіжки автомагнітол і залишених в салоні речей, викрадення автомобілів підлітками. У таких випадках через недосвідченість водіїв нерідко виникають дорожньо-транспортні пригоди. Отже, системи охоронної сигналізації і протиугінні пристрої, які запобігають не санкціонованому доступу до салону автомобіля, потрібні не лише для боротьби з злочином, але й для забезпечення дорожньої безпеки.

Більшість викрадачів автомобілів, підлітки – некваліфіковані водії, тому навіть найпростіші кошти сигналізації, як свідчить статистика, значно зменшують ризик викрадення.

З іншого боку, ніякі засоби захисту не зупинять кваліфікованих спеціалістів-викрадачів, якщо вони чомусь вирішили викрасти саме такий автомобіль. Ефективним виявляється застосування прихованих радіомаяків, за якими поліція виявляє викрадений автомобіль приблизно у 93% випадках.

#### **5.11.1 Електронні протиугінні системи**

Електронні протиугінні системи є стандартним устаткуванням більшості нових автомобілів і їх можна встановлювати на автомобілі випущені раніше. Промисловість випускає багато різних протиугінних систем, зазвичай, ціна корелюється відповідно до запропонованого рівня захисту. Протиугінні системи мали бути ефективними, надійними, мати тривалий термін служби, стійкими до зовнішніх впливів, наприклад, до радіоперешкоди. Установка протиугінної системи не повинна погіршувати безпеку автомобіля.

Протиугінні системи реалізують захист автомобіля умовно за трьома рівнями:

1. **Захист по периметру.** Система периметричного захисту використовує вимикачі контролю за які відкриваються панелями автомобіля (двері, капот, багажник). При спробі несанкціонованого відкриття панелі включаються звуковий та світловий сигнали. Іноді система доповнюється датчиками, здатними виявляти рух тіла.

2. **Захист за об'ємом.** Система з допомогою інфрачервоних, ультразвукових чи мікрохвильових датчиків виявляє несанкціоноване рух в салоні автомобіля.



Ультразвукові датчики використовують ефект Допплера, коли будь-який рух в салоні змінює частоту сигналу ультразвукового випромінювача (40 кГц), який приймається відповідним приймачем. Мікрохвильова радіосистема працює на тому самому принципі, але радіосигнал випромінюється на частоті 10 ГГц. Мікрохвильові датчики рідше помилково реагують на рух повітря, тому частіше встановлюються в кабріюлетах. Інфрачервоні датчики влаштований як комплект «приймач — випромінювач» і монтується до стелі салону. Вони утворюють невидиму інфрачервону завісу до підлоги салону. Приймач постійно контролює відбитий сигнал і його зміни (хтось з'явився у салоні) включається сигнал тривоги.

3. Іммобілізація двигуна. Іммобілізація двигуна здійснюється спеціальним **ЕБУ**, який забороняє запуск двигуна, якщо отримано сигнал тривоги. Це може бути здійснене двома шляхами:

а) апаратною іммобілізацією, коли деякі електричні ланцюга системи пуску двигуна розриваються спеціальними реле чи напівпровідниковими перемикачами. Ефективність апаратних систем іммобілізації залежить від прихованості реле, що розривають і відсутність маркування на дротах у джгутах. Прихованість потрібна для того, щоб не можна було шпунтувати розриви у ланцюзі, які створюють ці пристрої;

б) програмною іммобілізацією, коли за командою протиугінної системи **ЕБУ** двигуна забороняє його запуск, наприклад, робить недоступними калібровані діаграми подачі палива й запалювання. Після цього двигун хоч і буде провертатися стартером, але не запуститься. Такі системи дуже ефективні, потрібно лише не допустити можливість запуску шляхом заміни **ЕБУ** двигуна в інший працездатний блок.

Склад протиугінних пристроїв, які входять до стандартної комплектації, залежить від моделі автомобіля. В усіх випадках автомобіль комплектується засобами периметричного захисту, багато протиугінних систем містять іммобілізатор та захист по об'єму. Зазвичай протиугінна система включається і вимикається ключем замку двері чи з дистанційного пульта, які управляються ще й центральним замком. Після паркування автомобіля, водій замикає дверцята і включає протиугінний пристрій натисканням кнопки на дистанційному пульті управління (брелок). Світлодіодний індикатор включення протиугінної системи починає спалахувати: спочатку часто, інформуючи водія про включення системи, потім рідко, для відлякування потенційних викрадачів.

При спробі несанкціонованого проникнення в автомобіль протиугінна система включає звуковий сигнал, періодично запалює і гасить фари, іммобілізатор блокує роботу двигуна. Приблизно через 30 секунд звукові і світлові сигнали припиняються, щоб надмірно не розрядити акумулятор, іммобілізатор залишається ввімкненим до того часу, поки власник автомобіля не вимкне його дверним ключем або з дистанційного пульта управління.

### **5.11.2 Дистанційне керування протиугінними пристроями**

Система дистанційного управління дозволяє управляти протиугінним пристроєм і центральним замком з деякої відстані. Вона складається з портативного передавача, який носить водій, і приймача, підключеного до **ЕБУ** протиугінного пристрою і центрального замка. Передавач розміщується в брелку чи самому ключі. Для мініатюризації застосовуються багатошарові друковані плати та без корпусні мікросхеми. Живлення здійснюється від мініатюрних батарейок, як наручного годинника.

Передавачі створюють з урахуванням спеціалізованих мікросхем, наприклад HCS200, HCS201 (Microchip), чи недорогих 8-разрядних мікроконтролерів, наприклад

MC68HC05K3 (Motorola). Другий варіант дорожче, але є можливість застосовувати таке саме устаткування в передавачах з різними функціональними можливостями для різних систем дистанційного управління, які відрізняються криптографічними алгоритмами, інтерфейсом і т. ін.

Передавач посиляє відповідний цифровий код, який вмикає або вимикає протиугінну систему. Код передається послідовно, використовується інфрачервоне випромінювання чи радіосигнал в УКВ - діапазоні. Системи з інфрачервоним випромінювання мають малий радіус дії, вимагають точного наведення променя передавача, але не створюють електромагнітних перешкод. УКВ-системи мають більший радіус дії, але сигнал може перехопити і декодувати викрадач за допомогою відповідною електронною апаратурою. УКВ-випромінювачі можуть бути джерелами електромагнітних перешкод, тому їх параметри регламентуються відповідними законодавствами. У багатьох країн Європи передавачі автомобільних протиугінних систем працюють на частоті 433,9 МГц, у Франції – 224 МГц, в Австрія і Італії – 315 МГц, Великобританії – 418 МГц.

Передача сигналів кодової інформації в автомобільних протиугінних системах здійснюється зазвичай в одному напрямі з міркувань здешевлення устаткування. Брелоки і електромеханічні ключі не містять приймачів, хоча двохнаправлені сигнали значно ускладнили б зламування протиугінних систем.

Задля підвищення таємності ліній зв'язку багато протиугінних систем містять набір кодів, тобто при кожному натисканні кнопки передавача посиляється свій код з набору. Програмне забезпечення приймача синхронізує його з передавачем, тобто приймач очікує зміну коду. Зазвичай здійснюється циклічний перебір кодів з заданого набору (наприклад, з 25 різних кодів). Якщо приймач і передавач вийшли з синхронізації (наприклад, водій випадково натиснув кнопку передавача далеко від автомобіля), дистанційне управління працювати не буде, але система автоматично синхронізується, якщо відкривати двері ключем.

### **5.11.3 Характеристики протиугінних систем з дистанційним управлінням**

1. *Електроживлення.* Передавач живиться від малогабаритної літієвої батарейки (наприклад, CR2032 ємністю 210 мА·час). Елемент повинен працювати без заміни щонайменше 5 років за середнього числа передач на добу 50 і температурі 25 °С. Це забезпечує зручність експлуатації та збереження ущільнювачів в брелоку. Електронна схема брелока незадіяна більш 99% часу. Велике значенні має струм споживання у режимі очікування, який не повинен перевищувати 100 нА. В активному режимі після натискання кнопки контролер споживає 2...3 мА без включення передавача і 10...12 мА, коли працює передавач. Приймач отримує енергію з бортової електромережі автомобіля або з автономного джерела. У режимі очікування струм живлення менш 1 мА.

2. *Швидкодія.* Час від натискання кнопки на брелоку до розпізнавання коду в приймачі близько 300 мс, з урахуванням виконання команди – 1 с.

3. *Розміри і вартість.* Передавач може бути малогабаритним, щоб міститися у корпусі брелока чи звичайного механічного ключа. Люди іноді гублять ключі і брелоки, зокрема і від протиугінних систем. Заміна втраченого брелока не має коштувати дорого.

## 5.11.4 Робота протиугінної системи з дистанційним управлінням

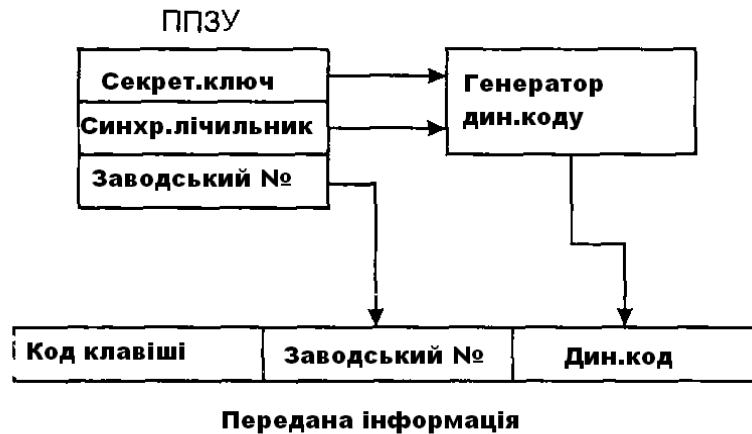


Рисунок - 5.28 Алгоритм роботи передавача

На рис. 5.28 і 5.29 схематично зображені алгоритми роботи передавача і приймача. Під час натискання кнопки брелока (передавач) його мікросхема з режиму очікування переходить у робочий режим. Запускається 16-розрядний синхронізуючий лічильник. Генератор динамічного коду виробляє за певним алгоритмом динамічний код (28—32 біт) у функції від значення секретного ключа (статичний код) та стану лічильника, що синхронізує. Динамічний код, заводський номер брелока і код натиснутої клавіші утворюють слово, яке управляє, має довжину у 60—70 біт і, яке передається приймачу радіоканалом чи іншим способом. Якщо брелок зареєстровано у даному приймачі, тобто його ідентифікаційний номер, секретний код, стан синхронізованого лічильника перебувають у ППЗУ приймача, прийнята інформація ідентифікується за двозначним номером брелока і обробляється. Запускається синхронізуючий лічильник приймача і виробляється динамічний код в генераторі приймача. Якщо динамічні коди приймача і передатчика збігаються, виконується передана команда.

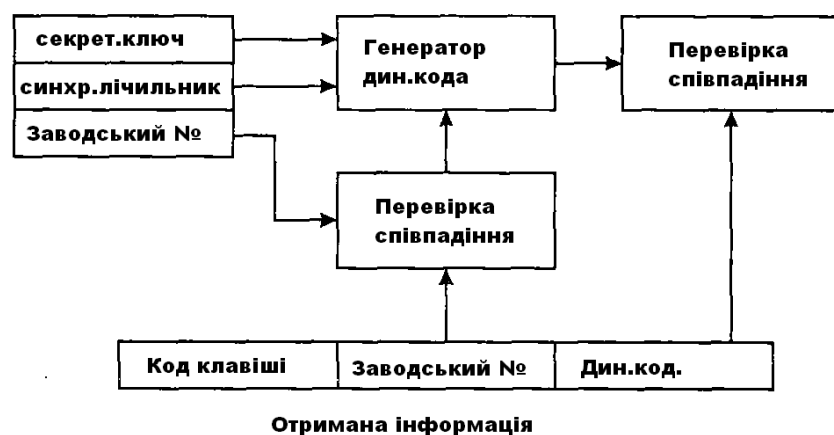


Рисунок 5.29 –Алгоритм роботи передавача

Заводський номер передавача і секретний ключ — статичні коди. Генератор динамічного коду, що тактується від 16-розрядного синхронізованого лічильника, виробляє 65535 різних значень коду, які змінюються у кожній послі, повторюваних циклічно. Якщо користуватися брелоком по 50 раз на день, повторення коду настане через 1310 діб.

Системи дистанційного управління на основі динамічного коду є криптографічними. Захист автомобіля від зламування залежить від кодовою довжини секретного ключа, тобто від кількості його можливих варіантів. Для автомобільних додатків вважається задовільним, якщо час  $T_z$  зламування системи методом сканування (перебору можливих комбінацій) перевищує 32 доби. У такому разі

$$T_s = \frac{1}{D} C(T_t + T_d),$$

де  $D$  – число зареєстрованих брелоків,

$Z$  – число значень секретного ключа,

$T_t$  – час активації системи,

$T_d$  – час, на який відключається система, якщо отримує неправильний динамічний код і розпізнає спробу зламування.

### 5.11.5 Види зламувань і захист від них

Можливі варіанти зламувань системи дистанційного управління:

1. Відтворення раніше записаного коду.
2. Відтворення раніше записаного коду з допомогою сканерів чи грабберів.
3. Криптоаналіз.
4. Зламування під час обслуговування.

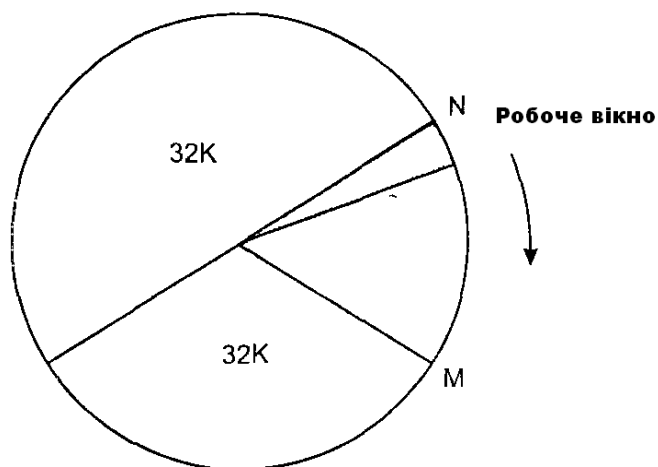
Ранні системи дистанційного управління передавали фіксований код чи змінюваний код з невеликого фіксованого набору. Викрадач з портативним комп'ютером і прийомо-передавачем (граббер) записував сигнал з брелока автовласника, потім відтворював його у потрібний момент, і саме так відключав сигналізації. Під час скануванні передавач викрадача періодично посилає кодові комбінації з невеличкого набору, поки не співпадуть з кодами протиугінної системи. Застосування динамічного коду, тобто збільшення кількості можливих кодових комбінацій в посилці зробить використання сканування неможливим. Однак з'явилися інтелектуальні граббери, які зламують протиугінні системи, в основі яких динамічний код і одностороння передача інформації, і працюють за таким принципом. Перша посліжка з брелока записується граббером з одночасної генерацією перешкоди, котра блокує приймач. Не отримавши підтвердження включення протиугінної системи, власник вдруге натискає кнопку брелока. Граббер записує другу посліжку, блокує її прийом приймачем, потім посилає першу посліжку. Протиугінна система включається. У потрібний час викрадач її відключить другою посліжкою, яку записав граббер. Можливим методом боротьби з таким алгоритмом роботи граббера є використання двонаправленої передачі у системі дистанційного управління. Але ця боротьба нескінченна.

У середовищі сучасних системах проти викрадання часто застосовують спеціалізовані мікросхеми фірми Microchip, реалізують алгоритм генерації псевдовипадкові послідовності (динамічного коду) Keeloq із довжиною ключа 64 біта. Є оцінки середнього часу для апаратного зламування грубою силою (перебором комбінацій) залежно від витрат на обладнання для зламування та довжини ключа (табл. 5.1).

Для зламування протиугінної системи треба мати спеціалізоване обладнання, або суперЕОМ типу Cray, позаяк операційні системи звичайних комп'ютерів непридатні до обробки довгих кодових слів. Криптоаналіз обійдеться невиправдано дорого.

У автосервісі викрадачі можуть спробувати зареєструвати свій брелок в приймальнику автомобіля. Далі можна записати з допомогою граббера команду

ресинхронізації з зареєстрованого брелока, щоб відтворити її пізніше під час викрадення.



**Рисунок 5.30 - Алгоритм синхронізації**

Отже, програмне забезпечення приймача має інформувати власника про під'єднання додаткового передавача. Для нормальної роботи системи дистанційного управління вміст 16-разрядних синхронізуючих лічильників приймача і передавача мають співпадати і інкрементуватися з кожним натисканням кнопки брелока. Насправді можливі випадкові натискання кнопок брелока (дитина пограв), які ведуть до розсинхронізації, що має коригуватися. Малюнок 5.30 пояснює алгоритм синхронізації в системах проти викрадення. Код в синхронізуючому лічильнику циклічно змінюється з кожним натисканням кнопки брелока, пробігаючи послідовно значення  $0, 1, \dots, N, N+1, \dots, 2^{16} - 1, 0, 1, \dots$ . Припустимо, що поточний стан лічильника приймача  $N$ . Приймач сприйме як дозволені динамічні коди, що відповідні стану синхронізованого лічильника від  $N$  до  $(N + \Delta)$ , де  $\Delta$  – ширина робочого вікна, зазвичай  $\Delta = 16$ . У межах робочого вікна ресинхронізація здійснюється однієї послілкою непомітно для власника. 32К станів лічильника до  $N$  є забороненими, 32К станів лічильника після  $N$  є дозволеними. Робоче вікно і обидві зони циклічно переміщуються під час інкрементації лічильника.

Після запису подвійної послілки для ресинхронізації викрадач змушений 32К раз натиснути кнопку брелока, щоб посланий з грабера код виявився знову у дозволеній зоні. Позаяк приймач запам'ятовує кілька останніх спроб ресинхронізації (зазвичай 4), він не дозволяє повторно використовувати записані кодові комбінації. Більшість систем проти викрадення підтримують режим Valet, коли система відключається під час обслуговування автомобіля і немає необхідності передавати брелоки стороннім особам.

### **5.11.6 Шифратори і дешифратори динамічного коду Keeloq**

Ці мікросхеми фірми Microchip вмонтовано у більшість сучасних автомобільних систем проти викрадення. Код Keeloq є двійковою псевдовипадковою послідовністю з періодом  $(2^{64} - 1)$  біт. Для ідентифікації передавача використовують блоки довжиною 32 біта. Унікальний для кожного передавача 64-битовий ключ – це початкове положення регістру, що зміщує в генераторі псевдовипадкових послідовностей.

Хоча у криптографії вважають, що безпека алгоритму повинна базуватися на довжині ключа, а не на таємності алгоритму, ніхто не поспішає публікувати свої алгоритми. Так чинить і Microchip, але можна зробити деякі логічні припущення.

Послідовності зсувних регістрів, й генерують псевдовипадковий сигнал, давно використовують у криптографії, у дослідженнях динаміки систем автоматики. Їх

математична теорія добре розроблена, вона легко реалізується, й застосовувалася в криптографії ще до появи електроніки.

На рис. 5.31 показано блок-схема генератора псевдовипадкової послідовності. Якщо не цікавитися математичною стороною питання, це є регістр, що зміщується, зі зворотними зв'язками.

Шифри на основі  $M$ -послідовностей в чистому вигляді відносно легко розкриваються, отже є алгоритми, які дозволяють визначати структуру генератора за зафіксованим вихідним сигналом.

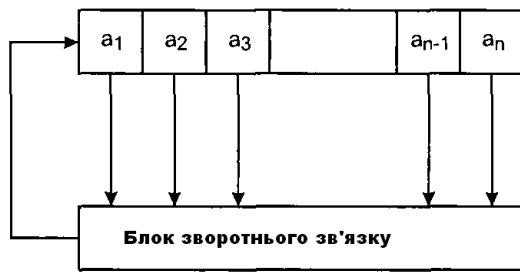


Рисунок 5.31- Блок-схема генератора

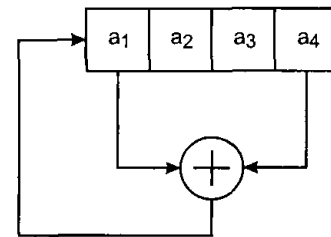


Рисунок 5.32- Послідовності



Рисунок 5.33 - Генератор Геффа

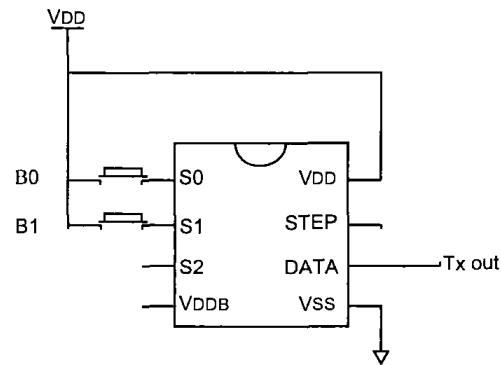


Рисунок 5.34 - Шифратор

Для подолання цього недоліку генератори потоку ключів ускладнюють.

Наприклад, на рис. 5.33 показаний один з таких варіантів – генератор Геффа. Обидва генератора тактуються одночасно, їх вихідні сигнали подаються на схему, що виключає АБО. Результуючий сигнал —  $M$ -послідовність з періодом  $(2^{n+k} - 1)$ . Простором ключів буде множина  $(n + k)$  розрядних початкових станів регістрів.

У алгоритмі Keeloq передаються не 64-розрядні слова стану регістру, а 32-розрядні блоки, цілісна вихідна послідовність завдовжки більше  $2n$  біт тут недоступна.

Шифратори HCS200, HCS201 і дешифратори HCS515 Microchip є типовими спеціалізованими мікросхемами у системах дистанційного управління, зокрема у автомобільних системах проти викрадення.

Шифратори (наприклад, HCS201) дуже компактні (рис. 5.34), і щоб виготовити на їх базі брелоки потрібні мікросхема передавача і мінімум зовнішніх компонентів.

В процесі натискання будь-якої з кнопок передається динамічний код і статус натиснутої кнопки, приймач виконує команду відповідну цій кнопці. За умови одночасного натискання 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 з допомогою програміста заноситься ініціалізуюча інформація. Для захисту від зламування цю інформацію, можна зчитати з ППЗУ тільки після записи. Потім вона недоступна для читання. Записуються:

- 28- чи 32-розрядний номер брелока для його ідентифікації у системі;
- 64-розрядний секретний ключ – початковий стан генератора псевдовипадкової послідовності. Ключ може бути сформований самим виробником системи проти викрадення. Можливе використання алгоритму генерації ключів, запропонований фірмою Microsoft, у цьому випадку здійснюється стандартна процедура реєстрації брелоків в приймачі. Вхідною інформацією для алгоритму стає номер брелока і 64-бітовий секретний код, який виробник вміщує до приймача. В іншому випадку – це номер брелока і 32-бітислове число з ППЗУ брелока (seed);
- 12 розрядне дискримінаційне слово. Довільний статичний код, рекомендовано до використання молодші розряди номеру брелока;
- 32-розрядне секретне слово (seed), яке передається у одному з режимів реєстрації, для генерації в приймачі секретного ключа.

На рис. 5.28 схематично показано слово, передане брелоком приймачу. Тут динамічний код — це зашифрований шифром Keeloq 32-розрядний блок, до складу якого: статус клавіші – 4 біта, дискримінаційне слово – 12 біт, стан синхронізуючого лічильника – 16 біт. У ППЗУ приймача зберігаються дискримінаційне слово, секретний ключ і реальний стан синхронізуючого лічильника. За умови збігу дискримінаційних слів приймача і передавача роблять висновок про спроможність дешифрування і команда виконується.

Розбіжність значень свідчить про розсинхронізацію, тобто для шифрування і дешифрування використовувалися не синхронні послідовності з простору ключів. Приймач починає процедуру ресинхронізації, тобто починає інкрементувати синхронізуючий лічильник і дешифрувати повідомлення з допомогою відповідних станів синхролічильника і секретного ключу послідовностей, поки дискримінаційне слово не дешифрується правильно. Далі реалізується алгоритм синхронізації (рис. 5.30).

### 5.11.7 Імобілізатор з транспонтером

Протиугінні системи постійно вдосконалюються, одним з варіантів є електронний імобілізатор з мікротранспонтером в ключі запалювання. Замок запалювання спрацьовує, якщо код, отриманий спеціальним приймачем від транспондера, збігається з заданим. Транспондер споживає електромагнітну енергію, випромінену приймачем на частоті 60...150 кГц, і вимагає додатково джерела живлення.

На рис. 5.35 схематично зображена система проти викрадення, випущена фірмою Philips і, яку встановлюють на автомобілях багатьох моделей, включаючи BMW, GM і Volkswagen. Транспондер складається зі складної мікросхеми, що зветься програмованим ідентифікатором (Programmable Identification Tag – PIT), яка підключена до джерела живлення. Джерело живлення в свою чергу складається з приймаючої котушки і конденсатора. Коли ключ запалювання опиняється на відстані приблизно 5 см від замку, виникає електромагнітний зв'язок між котушкою транспондера і приймачем. Утвореної енергії вистачає для роботи мікросхеми PIT, яка передає кодове слово на приймач, модулюючи струм, що проходить через котушку на ключі. Якщо код, отриманий транспондера, відповідає коду, що зберігається у пам'яті приймача, ЕБУ двигуна отримує дозвіл виконати запуск двигуна. Після успішного запуску двигуна приймач надсилає у транспондер нову кодову комбінацію, саме вона використовується в процесі наступного запуску двигуна. Отже досягається високий рівень захищеності від викрадення.

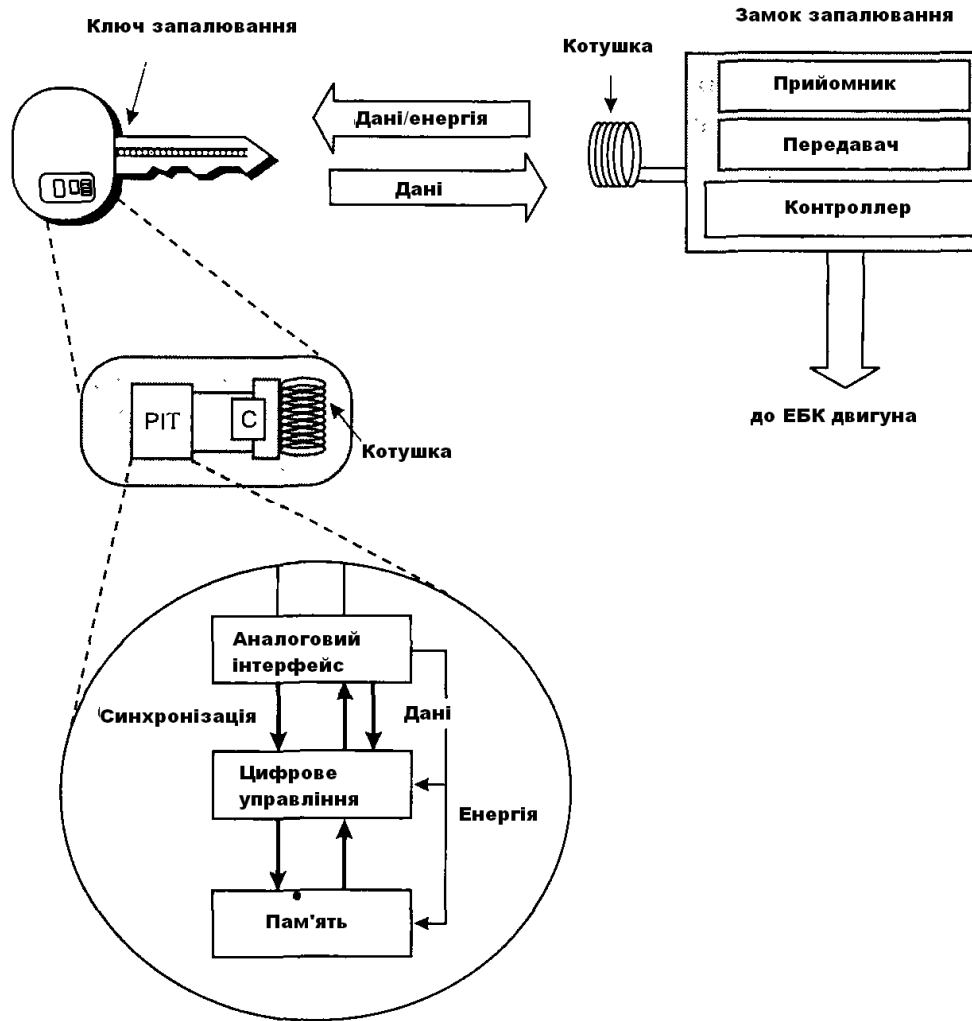


Рисунок 5.35 - Іммобілізатор з транспондером

### 5.11.8 Конфігурація системи проти викрадення

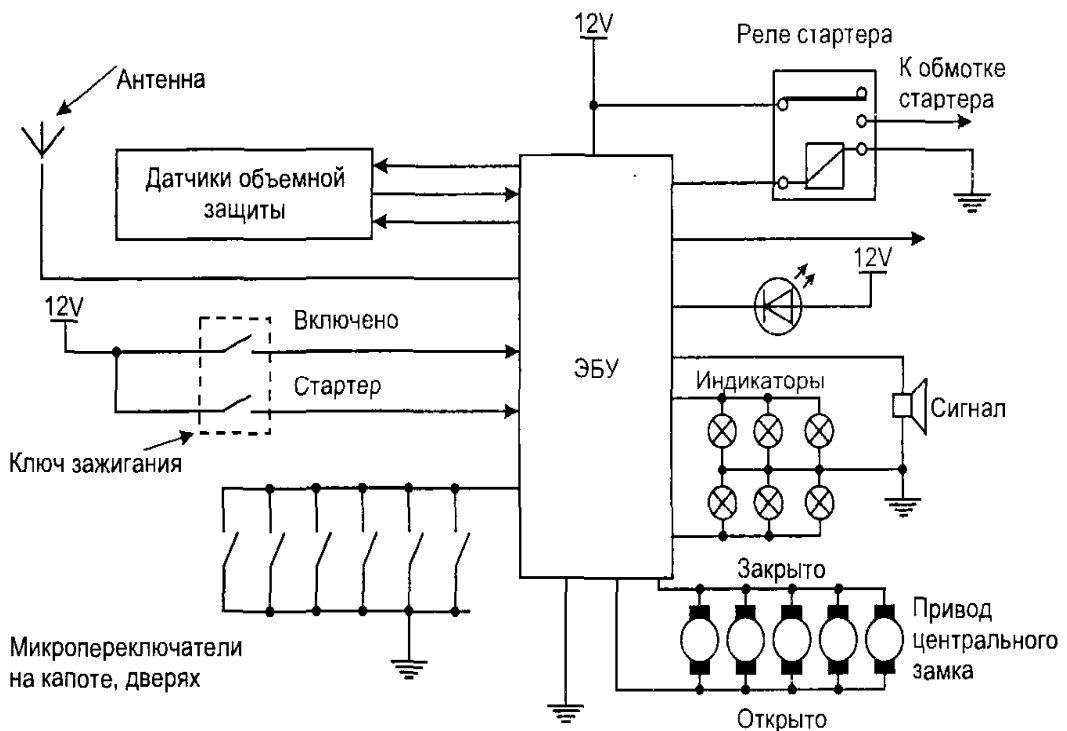


Рисунок 5.36 - Блок-схема базової антивикрадацької системи



На рис. 5.36 показано конфігурація базової системи проти викрадання з периметричним та об'ємним захистом і з іммобілізатором. Система включає мікропроцесорний ЕБУ, який управляє також центральним замком і приводить до робочого стану сигналом з радіочастотного дистанційного пульта керування після замикання дверей автомобіля.

Щойно система проти викрадання включена, вона можуть реагувати ми такі дії:

- відкривання капоту, дверей чи багажника;
- спроба відмикання дверного замка;
- спроба вмикання замка запалювання;
- спроба вмикання стартера;
- переміщення, рух у салоні автомобіля (об'ємний захист).

Коли система проти викрадання зафіксує спробу несанкціонованого доступу до автомобіля, на 30 секунд включається звуковий сигнал і підсвічування фарами, іммобілізатор вносить розриви у подальшому ланцюгу управління запуском і забороняє користування калібровочними діаграмами електронного запалювання і впорскування палива, після чого робота двигуна стає неможливою.

Для вимикання системи проти викрадання та відмикання дверей з дистанційного пульта може бути посланий відповідний код.

### 5.11.9 Додаткові датчики

Багато протиугінні системи мають додаткових датчиків і більші можливості, ніж описана вище базова система.

1. *Радіоприймач і ящик для рукавичок.* Тут можуть бути мікроперемикачі, які включають охоронну сигналізацію під час відкривання ящика для рукавичок, включення, демонтажу радіоприймача.

2. *Датчики, що здатні фіксувати розбивання скла.* Ці датчики вмикають охоронну сигналізацію, якщо викрадач спробує потрапити у салон автомобіля, розбивши заднє або бокове скло. Переднє вітрове скло (триплексне) зазвичай оснащується датчиками, оскільки вважається достатньо міцним. Здебільшого використовуються два типу датчиків:

а) дротова петля. На склі розміщується петля з тонкого дроту. Постійно контролюється цілісність цього електричного ланцюга. Під час розбивання скла електричний ланцюг порушується і вмикається охоронна сигналізація. Такий спосіб добрий для нерухомих шибок, наприклад, для заднього скла, де вже є електричний контур обігрівача;

б) магнітні датчики закріплюють на рухомих бічних шибках. На нижньому краї скла (в корпусі двері) закріплюють невеличкий постійний магніт. Коли скло підняте, магніт перебуває поблизу геркона, який розміщено в корпусі двері, й своїм магнітним полем замикає контакти геркона, створюючи замкнутий сигнальний контур. Якщо скло розбите, його фрагменти провалюються разом із магнітом на дно корпусу двері, тоді геркон розмикає контакти і вмикається охоронна сигналізація.

3. *Датчик нахилу.* Включає охоронну сигналізацію, якщо нахил автомобіля надто відрізнятиметься від того, коли був припаркованим. Це може статися за спроби підняти автомобіля підйомним краном чи під час буксирування. Один з типів датчиків передбачає контроль величини електричної ємності конденсатора, який утворено двома металевими пластинами, розділеними рідким діелектриком. Якщо датчик нахилений, то пластини інакше омиваються рідиною і ємність змінюється. ЕБУ протиугінного

пристрою замірює ємність конденсатора і запам'ятовує її під час включення, потім постійно її контролює. За умови зміни ємності конденсатора (машину підняли краном) включається сигнал тривоги. За спеціальною командою **ЕБУ** протиугінного пристрою сигнал з датчика нахилу можна заблокувати, що дозволить перевозити автомобіль на поромі, залізницею без зайвої роботи для системи проти викрадання.

4. *Датчик становища автомобіля.* Рух автомобіля уперед, чи назад фіксується, що викликає спрацьовування антивикрадалної системи (наприклад, під час спроби штовхати чи буксирувати автомобіль). Несанкціоноване переміщення автомобіля зазвичай визначається підрахунком імпульсів від датчика спідометра. Якщо за заданий час отримано число імпульсів більше визначено, то автомобіль вважається таким, що рухається, а відтак включається сигналізація.

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

### 6.1 Поняття про автомобільні мультиплексні системи

#### 6.2 Локальні обчислювальні мережі

##### 6.2.1 Еталонні моделі взаємодії систем

##### 6.2.2 Протоколи комп'ютерних мереж

##### 6.2.3 Фізична передача середовище в ЛВС

##### 6.2.4 Основні топології ЛОМ

##### 6.2.5 Методи доступу до передавальної середовищі

##### 6.2.6 Тимчасове та частотне ущільнення сигналів в мультиплексній системі

### 6.3 Приклади автомобільних мультиплексних систем

#### 6.3.1 Клас А

#### 6.3.2 Клас В

#### 6.3.3 Клас С

### 6.4 Протоколи високих рівнів

#### 6.4.1 Транспортний рівень

#### 6.4.2 Прикладний рівень

#### 6.4.3 Управління мережею (диспетчеризація)

### 6.5 Протоколи низького рівня (шинні)

#### 6.5.1 Канал зв'язку

#### 6.5.2 Підрівні MDI і РМА

#### 6.5.3 Сигнали на фізичному рівні (підрівень PLS)

#### 6.5.4 Управління доступом до середовища (підрівень MAC)

## **6.1 Поняття про автомобільні мультиплексні системи**

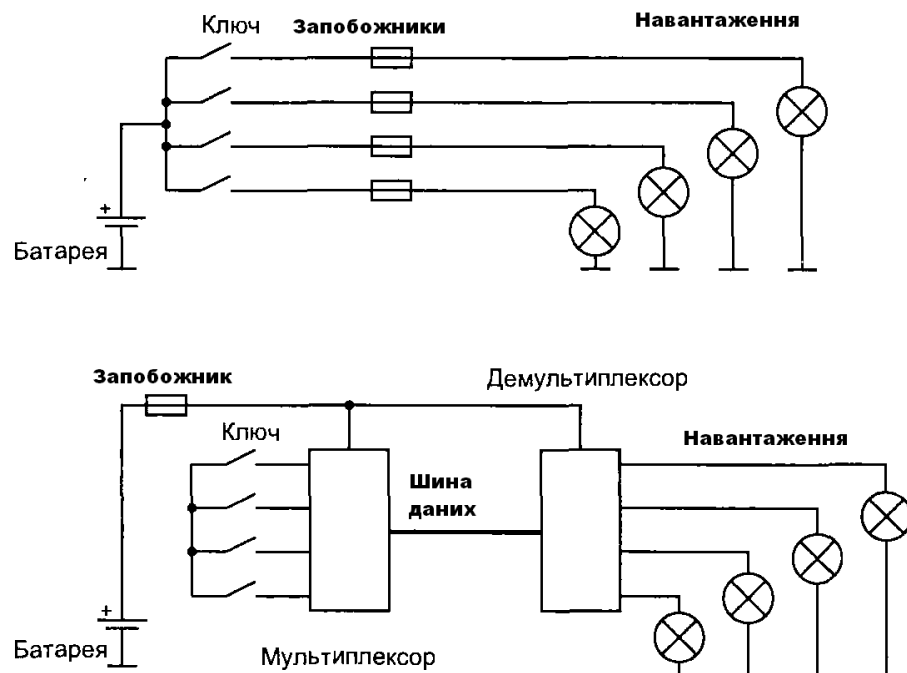
За останні 20 років значно зросла складність автомобільної електропроводки. Сьогодні розробка і виготовлення автомобільного джгута дротів є проблемою за його розмірів та ваги. У сучасному автомобілі може бути більш 1200 окремих дротів. Наприклад, джгут, що йде до дверей водія, містить 50 дротів; джгут, підходящий до приладового щитка — близько 100 дротів. Крім збільшення розмірів та ваги, велика кількість дротів і з'єднувачів погіршує надійність. По вартості автомобільний джгут дротів займає четверте місце після кузова, двигуна і трансмісії. Зростає кількість систем автомобіля, які мають автотронне управління, як-от:

- автотронне управління двигуном;
- автотронні антиблокувальні системи;

- автотронне управління коробкою передач;
- автотронне управління клапанами;
- активна підвіска.

Ці системи пов'язані одне з одним. Вихідні сигнали деяких датчиків можна використовувати кількома електронними системами. Можна також використовувати один комп'ютер для керування усіма автомобільними системами. Але сьогодні й у майбутньому це економічно недоцільно. Починає втілюватися у життя інше технічне рішення, коли контролери окремих електронних блоків управління (ЕБУ) зв'язуються друг з одним комунікаційною шиною для обміну даними. Датчики і виконавчі механізми, підключені до цієї шини через спеціальні узгоджувальні пристрої, стають доступними для всіх ЕБУ. Це не що інше, як локальна обчислювальна мережа (ЛОМ) на борту автомобіля. Термін «мультиплексний» широко використовують у автомобільній промисловості. Зазвичай його відносять до послідовних каналів передачі між різними електронними пристроями автомобіля. Кілька дротів, якими передаються управляючі сигнали, замінюються шиною для обміну даними. Зменшення кількості дротів в електропроводці автомобіля — одна причина розробки мультиплексних систем. Інша причина — необхідність об'єднання ЛОМ контролерів різних ЕБУ для ефективнішої роботи і діагностики. На рисунку 6.1 показана традиційна схема електропроводки і мультиплексна система. Мультиплексні системи значно різняться від звичайних. Зазначимо деякі відмінності, очевидні з рисунку 6.1.

1. У звичайних системах електропроводки інформація, і живлення передаються по одним і тим самим дротам. У мультиплексних системах сигнали і електроживлення розділені.

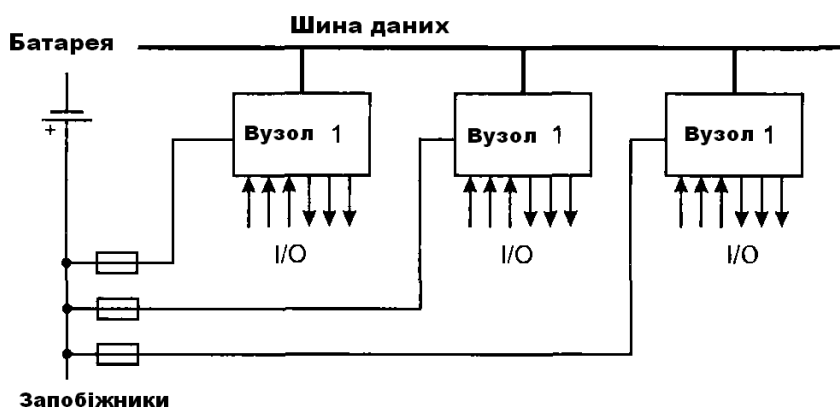


**Рисунок 6.1 - Звичне і мультиплексне підключення навантажень**

2. У мультиплексних системах управляючі ключі безпосередньо не включають і виключають електроживлення навантажень.

3. У окремих випадках електронна схема вузла повинна постійно зчитувати стан управляючого ключа, коли більшість електроустаткування обезструмлена. Наприклад, становище ключа центрального замку дверей має визначатися і при паркуванні, коли

багато системи відімкнено із міркувань енергозбереження. По схемою рисунку 6.1 може бути реалізовано електроживлення корпусних споживачів: висвітлення, склопідйомники, омивачі тощо. Електропроводка спрощується з допомогою приймання та передачі різних сигналів між вузлами за однією й тією самою шиною (дротом). При звичайній схемі проводки для реалізації кожної функції потрібний окремий провідник. Через вузли здійснюється доступ до мережі. Вузол, зазвичай, містить мікропроцесор, підключений до комутаційної шини і електронного ланцюга, які управляють роботою датчиків і виконавчих механізмів, підключених до вузлу. Комунікаційна шина на сучасному автомобілі найчастіше являє собою кручену пару дротів, хоча можливі й інші виходи (дивись 6.2.3). На рисунку 6.2 загалом показана мультиплексна система.



**Рисунок 6.2 - Структура мультиплексної системи**

До входів вузлів можуть підключатися будь-які датчики, до виходів виконавчі пристрої. Приклади входної інформації: температура, струм, напруга, становище перемикачів тощо. Приклади виконавчих пристроїв та правових механізмів: дисплеї, електроклапани, електродвигуни тощо.

SAE (Society of Automotive Engineers — міжнародне суспільство автомобільних інженерів) ділить мультиплексні автомобільні системи на 3 класи:

1. Клас А. Мультиплексні системи, у яких автомобільна електропроводка спрощується з допомогою використання комунікаційної шини. З цієї шини між вузлами передаються сигнали, які проходять по роздільних дротах в автомобілі зі звичайною електропроводкою. Вузли, які є частиною мультиплексної системи, при звичайній електропроводці відсутні.

2. Клас В. У мультиплексній системі між вузлами передаються інформаційні дані (зазвичай значення параметрів), чим досягається усунення надмірності датчиків та інших елементів в порівнянні з звичайною схемою електропроводки. В цьому випадку вузли є і у звичайній системі, у виді незв'язаних елементів.

3. Клас С. Мультиплексна система дуже швидко обмінюється даними, що здійснює управління в реальному часі, наприклад, двигуном, антиблокувальною системою тощо. Системи класу А йдуть на включення/виключення різних навантажень (наприклад, для керування елементами дверей салону), швидкість передачі по шині трохи більше 10 Кбіт/сек. У системах класу В здійснюється обмін інформацією між підсистемами, коли потрібна швидкість передачі 100...250 Кбіт/сек. Нині системи класу В використовуються автомобілем частіше від інших. Обмін даними в системах класу В відповідає вимогам стандарту J1850 (10...40 Кбіт/сек, США, Японія) чи протоколу VAN (vehicle area network — автомобільна локальна мережа), 125 кбіт/сек, підтримуваного французькими фірмами Renault і Peugeot. Завдання систем класу В можна вирішити,

застосувавши шину CAN (controller area network — локальна мережа контролерів), але на сьогодні поки що це економічно недоцільно. У системах класу С здійснюється розподілене управління у реальному масштабі часу, швидкість обміну даними близько 1 Мбіт/сек. Шина CAN є стандартом для мультиплексних систем класу С. Найбільші виробники автомобільних електронних приладів (Bosch, Delco) та комплектуючих (Intel, Motorola) підтримують CAN.

## 6.2 Локальні обчислювальні мережі

### 6.2.1 Еталонні моделі взаємодії систем

Для визначення завдань, поставлених перед складною технічною системою, а також для виділення головних характеристик і параметрів, які вона повинна мати, створюються загальні моделі таких систем. Загальна модель обчислювальної мережі визначає характеристики мережі загалом і характеристики і функції які входять до її основних компонентів. Розмаїття варіантів обчислювальних мереж, і мережевих програмних продуктів поставило проблему об'єднання мереж різних архітектур. Для її рішення була розроблена еталонна модель архітектури відкритих систем(рисунок 6.3)

Відкрита Система - це система ,яка взаємодіє з іншими системами в відношенні з прийнятими стандартами.

Рівень	
7	<b>Прикладний</b>
6	<b>Представницький</b>
5	<b>Сеансовий</b>
4	<b>Транспортний</b>
3	<b>Мережевий</b>
2	<b>Канальний</b>
1	<b>Фізичний</b>

**Рисунок 6.3 - Еталонна модель архітектури відкритих систем**

7-й рівень — прикладний — забезпечує підтримку прикладних процесів кінцевих користувачів. Цей рівень визначає коло прикладних завдань, що реалізуються в даній обчислювальній мережі.

6-й рівень — представницький — визначає синтаксис даних в моделі. Він гарантує надання інформації в кодах і форматах, які прийняті в даній системі. У деяких системах цей рівень може бути об'єднаний із прикладним.

5-й рівень — сеансовий — реалізує встановлення та підтримку сеансу зв'язку між двома абонентами через комунікаційну мережу. Він дає змогу виробляти обмін інформацією в режимі , який визначений прикладною програмою, чи дає можливість вибору режиму обміну. Сеансовий рівень підтримує і завершує сеанс зв'язку. Три верхніх рівня об'єднуються під спільною назвою — процес чи прикладний процес. Ці рівні визначають функціональні особливості обчислювальної мережі як прикладної системи.

4-й рівень — транспортний — забезпечує інтерфейс між процесами і мережею.

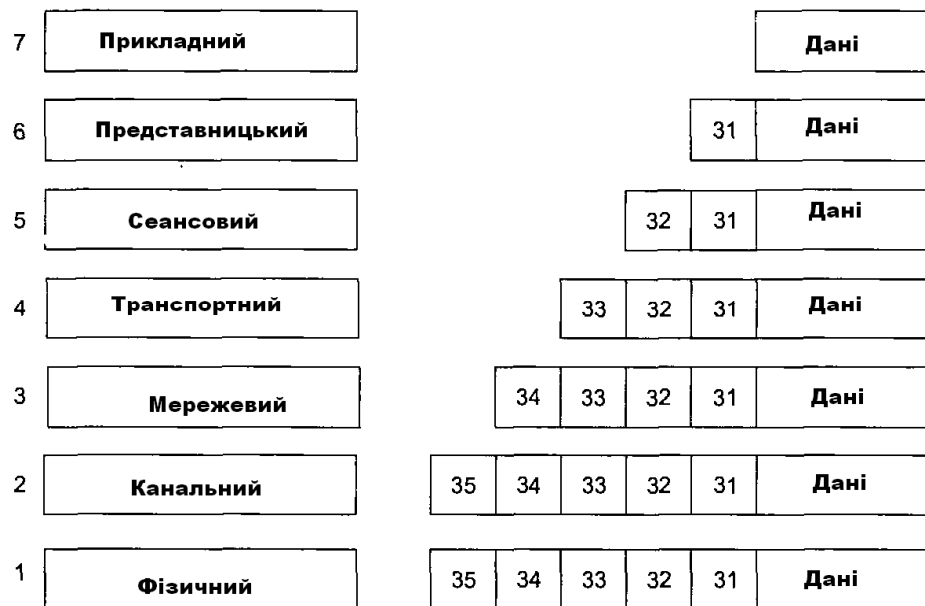
Він установлює логічні канали між процесами і забезпечує передачу за цими каналами інформаційних пакетів, якими обмінюються процеси. Пакет — група байтів, переданих абонентами мережі одна одній. Логічні канали, встановлювані транспортним рівнем, називаються транспортними каналами.

3-й рівень — мережевий — визначає інтерфейс кінцевого устаткування користувача з мережею комутації пакетів. Він також відповідає за маршрутизацію пакетів в комунікаційній мережі й за зв'язок між мережами — реалізує міжсіткова взаємодія.

2-й рівень — каналний — реалізує процес передачі по інформаційному каналу. Інформаційний канал — логічний канал, він встановлюється між двома ЕОМ, з'єднаними фізичним каналом.

Канальний рівень забезпечує управління потоком даних і кадрів, у яких упаковуються інформаційні пакети, виявляє помилки передачі й реалізує алгоритм відновлення інформації у разі виявлення збоїв чи втрат даних. Кадр має структуру: інформація про джерело даних, інформацію про приймач, тип кадру, дані, контрольна інформація.

1-й рівень — фізичний — виконує всі необхідні процедури в каналі зв'язку. Його основне завдання — управління апаратурою передачі і підключеним до неї каналом зв'язку. При передачі інформації від прикладного процесу у мережу відбувається її обробка рівнями моделі ВВС (рисунком 6.4). Сенс цієї обробки у тому, що кожен рівень додає до інформації процесу свій заголовок — службову інформацію, що необхідна для адресації повідомлень й для деяких контрольних функцій. Канальний рівень крім заголовка додає ще і кінцевик — контрольну послідовність, яку використовують для перевірки вмотивованості прийому повідомлення з комунікаційної мережі.



**Рисунок 6.4 - Обробка повідомлень рівнями моделі ВВС (кожен рівень додає свій заголовок — 3)**

Фізичний рівень заголовка не додає. Повідомлення, й із заголовками і кінцевиком, іде у комунікаційну мережу і робить на абонентські ЕОМ обчислювальної мережі. Кожна абонентська ЕОМ, яка прийняла повідомлення, дешифрує адреси й визначає, чи призначено їй це повідомлення. Причому у абонентської ЕОМ відбувається зворотний процес — читання і відсікання заголовків рівнями моделі ВВС. Кожен рівень реагує лише на свій заголовок. Заголовки верхніх рівнів нижніми рівнями не

сприймаються і не змінюються — вони прозорі для нижніх рівнів. Так, переміщуючись за рівнями моделі ВВС, інформація, нарешті, надходить до процесу (споживачеві), якому вона була адресована. У процесі розвитку й удосконалення будь-якої системи виникає потреба змінювати її окремі компоненти. Деколи це зумовлює необхідність змінювати інші компоненти, що ускладнює і утрудняє процес модернізації системи. У такому випадку виявляються переваги семирівневої моделі ВВС. Якщо між рівнями визначено однозначно інтерфейси, то зміна однієї з рівнів не тягне за собою необхідності внесення змін - у інші рівні. Отже, існує відносна незалежність рівнів один від одного. Функції, описувані рівнями моделі, мають бути реалізовані або у апаратурі, або у формі програм. Функції фізичного рівня завжди реалізуються в апаратурі. Це адаптери, мультиплексори передачі, мережні плати. Функції інших рівнів реалізуються як програмні модулі — драйвери.

### **6.2.2 Протоколи комп'ютерних мереж**

При обміні інформацією у комп'ютерній мережі кожен рівень моделі ВВС реагує на свій заголовок. Інакше кажучи, відбувається взаємодія між однойменними рівнями моделі у різних абонентських ЕОМ. Така взаємодія має виконуватися за правилами — протоколам. Протокол — це програма. Правила і послідовність виконання дій під час обміну інформацією, встановлені протоколом, мають бути реалізовані у програмі. Зазвичай функції протоколів різних рівнів реалізуються в драйверах щодо різноманітних обчислювальних мереж. Відповідно до семирівневої структури моделі ВВС можна говорити про необхідність існування протоколів для кожного рівня. Концепція відкритих систем передбачає розробку стандартів для протоколів різних рівнів. Найлегше піддаються стандартизації протоколи трьох нижніх рівнів моделі архітектури відкритих систем, оскільки вони на сьогодні визначають дії і складні процедури, характерні для обчислювальних мереж будь-якого класу. Найважче стандартизуються протоколи верхніх рівнів, особливо прикладного, через множинності прикладних завдань та низці випадків їх унікальності. Якщо по типам структур, методам доступу до фізичного передавального середовища, що використовуються мережним технологіями й деяким іншим особливостям можна нарахувати приблизно десяток різних моделей обчислювальних мереж, то по їх функціональному призначенню меж немає. Найпростіше уявити особливості мережних протоколів з прикладу протоколів каналного рівня, які діляться на дві основні групи: байт-орієнтування і біт-орієнтування. Байт - орієнтований протокол забезпечує передачу повідомлення по інформаційному каналу у виді послідовності байтів. Крім інформаційних байтів в канал передаються також керуючі системи й службові байти. Такий тип протоколу зручний ЕОМ, оскільки він орієнтований на обробку даних, які у вигляді двійкових байтів. Для комунікаційного середовища байт-орієнтований протокол менш зручний, оскільки поділ інформаційного потоку в каналі на байти потребує додаткових сигналів, що в рахунок знижує пропускну спроможність каналу зв'язку. Біт - орієнтований протокол передбачає передачу інформацією у вигляді потоку бітів, не поділених на байти. Тож для поділу кадрів використовуються спеціальні послідовності — прапори. На початку кадру ставиться прапор який відкриває, а в кінці — прапор який закриває.

### **6.2.3 Фізичне передавальне середовище в ЛОМ**

Фізичне середовище забезпечує перенесення інформації між абонентами

обчислювальної мережі. Фізичне передавальне середовище в ЛОМ може бути представлено такими типами кабелів: одиночний провід, вита пара дротів, коаксіальний кабель, оптоволоконний кабель. Однопровідні сполуки використовують у автомобільних мультиплексних системах зі швидкістю передачі нижче 10 Кбіт/с. Перешкодозахищеність низька. Вита пара з двох ізольованих дротів, звитих між собою (рисунок 6.5). Скручування дротів зменшує вплив зовнішніх електромагнітних полів на передані сигнали. Найпростіший варіант крученої пари — телефонний кабель. Кручені пари мають різні характеристики, зумовлені розмірами, ізоляцією і кроком скручування. Невисока вартість цього виду передавального середовища робить його досить популярним для ЛОМ. Основна проблема крученої пари — погана перешкодозахищеність і низька швидкість передачі — трохи більше 1 Мбіт/с. Технологічні вдосконалення дозволяють підвищити швидкість передачі й перешкодозахищеність (екранована вита пара), але натомість зростає вартість цього передавального середовища. У автомобільних мережах кручені пари працюють при швидкостях обміну не вище 500 Кбіт/с. Проблеми з електромагнітною сумісністю виникають вже при швидкості обміну вище 100 Кбіт/с. Однопровідні кабелі і кручені пари зручно підключати до вузлів мережі. Коаксіальний кабель (рисунок 6.6) в порівнянні з крученою парою володіє більш високою механічною міцністю, перешкодозахищеністю і забезпечує швидкість передачі до 50 Мбіт/с.

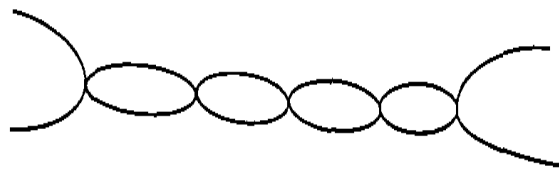


Рисунок 6.5 – Вита пара

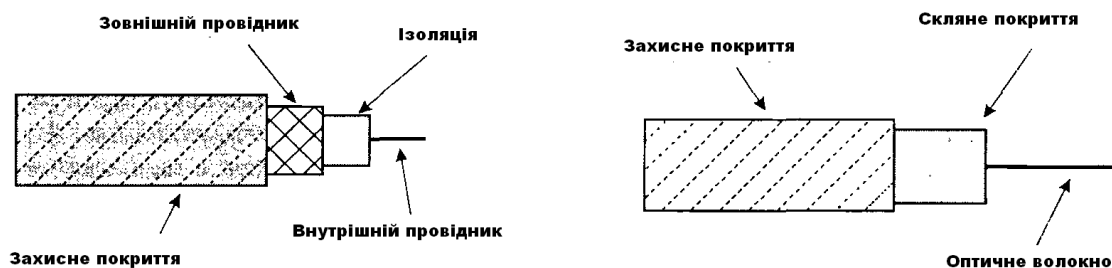


Рисунок 6.6 – Коаксіальний кабель Рисунок 6.7 – Оптоволоконний кабель

Для промислового використання випускаються два типи коаксіальних кабелів: товстий і тонкий. Товстий кабель більш міцний і передає сигнали потрібної амплітуди на більшу відстань, ніж тонкий. У той самий час тонкий кабель набагато дешевше. Коаксіальний кабель як і вита пара, один із популярних типів передавального середовища для ЛОМ. На автомобілях екрановані кручені пари чи коаксіальний кабель працюють при швидкостях обміну даними трохи більше 10 Мбіт/с, мають хорошу електромагнітну сумісність, але підключати до вузлів їх незручно, потрібні спеціальні Т-подібні відгалужувачі. Оптоволоконний кабель — ідеально передавальне середовище (рисунок 6.7). Він піддається дії електромагнітних полів і сам практично немає ніякого випромінювання. Остання властивість дозволяє вживати їх у мережах, які потребують укріття секретної інформації. Швидкість передачі по оптоволоконному кабелю понад 50 Мбіт/с. У порівнянні з попередніми типами передавального середовища він має вищу



вартість, менш технологічний в експлуатації.

#### 6.2.4 Основні топології ЛОМ

Обчислювальні машини (контролери для автомобіля), що входять до складу ЛОМ, можуть бути розташовані випадково на об'єкті, де створюється обчислювальна мережа. Слід зазначити, що для способу звернення до передавального середовища і методів управління мережею небайдуже, як розташовані абонентські ЕОМ. Тому є сенс казати про топології ЛОМ. Топологія ЛОМ — це формалізована геометрична схема сполук вузлів мережі. Топології обчислювальних мереж можуть бути дуже різними, але для локальних обчислювальних мереж типовими є лише три: кільцева, шинна, зіркоподібна. Іноді для спрощення використовують терміни — кільце, шина і яскрава зоря. Не треба думати, що аналізовані типи топологій являють собою ідеальне кільце, ідеальну пряму чи зірку. Будь-яку комп'ютерну мережу можна розглядати сукупність вузлів. Вузол — будь-який пристрій, безпосередньо залучений до передавального середовища мережі. Топологія формалізує схему сполук вузлів мережі. Ось еліпс, і замкнута крива, і замкнута ламана лінія ставляться до кільцевої топології, а незамкнута ламана лінія — до шинної. Кільцева топологія передбачає з'єднання вузлів мережі в замкнутий контур кабелем передавального середовища (рисунок 6.8). Вихід одного вузла мережі з'єднується із входженням іншого. Інформація по кільце передається від вузла до вузлу. Кожен проміжний вузол між передавачем і приймачем ретранслює надіслане повідомлення. Приймає вузол розпізнає і навіть отримує лише адресовані йому повідомлення. Кільцева топологія є ідеальною для мереж, котрі посідають порівняно невеличкий простір. У ній відсутній центральний вузол, що підвищує надійність мережі. Ретрансляція інформації дозволяє вживати, в якості передавального середовища, будь-які типи кабелів. Послідовний порядок обслуговування вузлів такої мережі знижує її швидкодію, а вихід із ладу одного з вузлів порушує цілісність кільця і потребує застосування спеціальних заходів задля збереження тракту передачі.

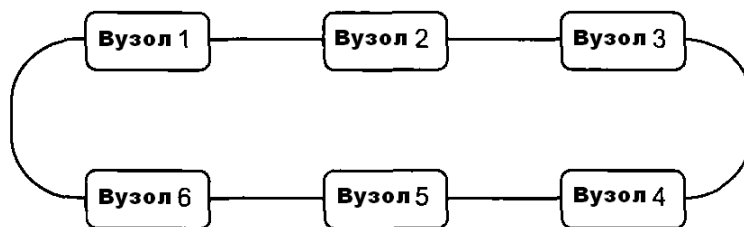


Рисунок 6.8 – Кільцева топологія

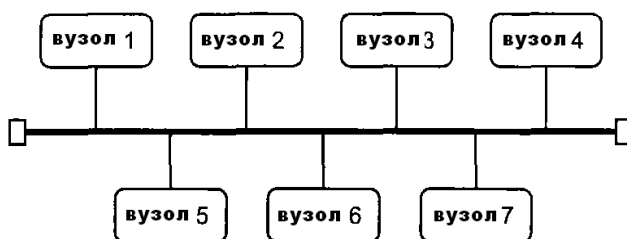


Рисунок 6.9 – Шинна топологія



Рисунок 6.10 – Зіркоподібна топологія

Шинна топологія — одна з найпростіших (рисунок 6.9). Дані від передавального вузла мережі поширюються по шині у обидва боки. Проміжні вузли не транслюють вступників повідомлень. Інформація надходить попри всі вузли, але приймає повідомлення лише те, якому воно адресовано. Порядок обслуговування —

паралельний. Це забезпечує високу швидкість ЛОМ з шинною топологією. Мережу легко нарощувати і конфігурувати, і навіть адаптувати до різних систем. ЛОМ з шинною топологією стійка до можливих несправностей окремих вузлів. Такі ЛОМ найпоширеніші сьогодні. Слід зазначити, що вони теж мають протяжність і не дозволяють використовувати різні типи кабелю у межах однієї мережі. Зіркоподібна топологія (рисунок 6.10) виходить з концепції центрального вузла, до якого підключаються периферійні вузли. Кожен периферійний вузол має власну окрему лінію з'єднану з центральним вузлом.

### **6.2.5 Методи доступу до передавального середовища**

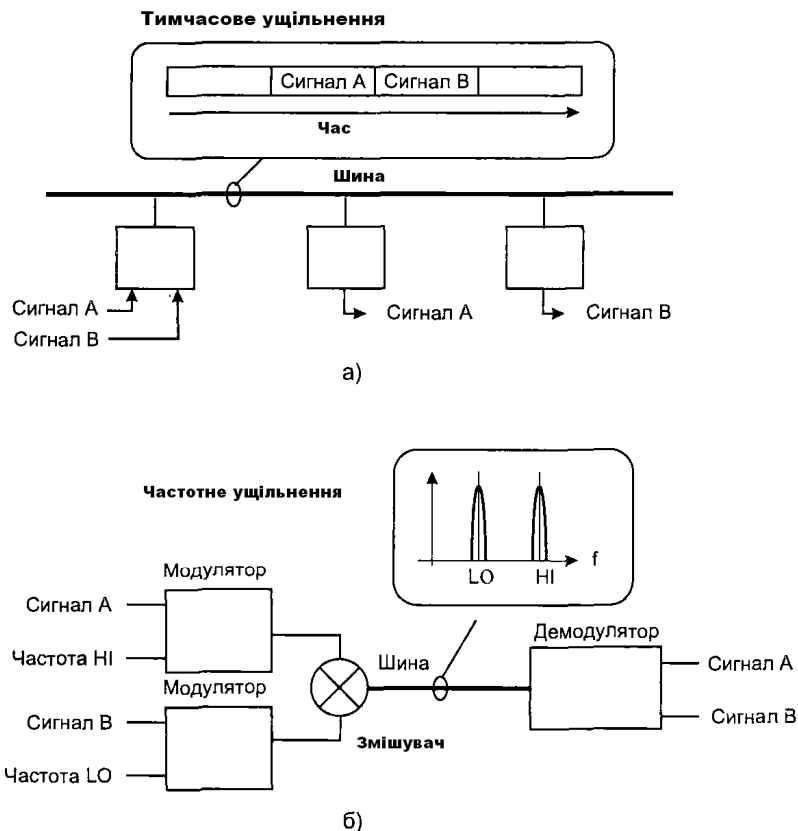
Передавальне середовище є спільним ресурсом для всіх вузлів ЛОМ. Щоб отримати можливість доступу до цього ресурсу з вузла мережі, необхідні спеціальні механізми — методи доступу. Метод доступу до передавального середовища — це метод, який забезпечує виконання сукупності правил, за якими вузли мережі отримують доступ до ресурсу. Існують два основних класи методів доступу: детерміновані, недетерміновані.

### **6.2.6 Тимчасове і частотне ущільнення сигналів в мультикомплексних системах**

За методами ущільнення сигналів локальні обчислювальні мережі (ЛВС) можна розділити на великі категорії — з тимчасовим і частотним ущільненням. Ці два методи ущільнення засновані різними принципами використання робочої смуги частот системи.

1. Тимчасове ущільнення. На рисунку 6.11, а показано, що у мережах із тимчасовим ущільненням (чи з передачею сигналу без модуляції) у будь-якій конкретний момент часу передачу даних через мережу веде один схожий пристрій, займаючи усю шпальту частот системи. Такий метод забезпечує дуже високу швидкість передачі у бітах в секунду. Щоб дати багатьом абонентам звертатися до неї, тривалість кожної передачі має обмежуватися заданим інтервалом часу. До кожного блоку даних приєднується адреса того вузла, яким повинні пересилатися ці дані. Кожен вузол постійно контролює адреси на шині, щоб виявити блоки даних, які надходять йому. Можливості ЛОМ з тимчасовим ущільненням сигналів обмежуються тим, що у конкретний час передавати дані через таку мережу може лише один абонент. Насправді загальна кількість абонентів ЛОМ залежить від середньої часової тривалості (довжини) повідомлень і кількості повідомлень, які потрібно передати за певний час.

2. Частотне ущільнення. З рисунку 6.11, б видно, що у мережах із частотним ущільненням сигналів (чи ширококутових мережах) смуга частот розбита на цілий ряд неперервних частотних піддіапазонів. Кожній парі взаємодіючих між собою вузлів виділяється один із цих піддіапазонів. Отже, будь-якої миті часу звертатися до мережі можуть одночасно багато абонентів, оскільки вони використовують різні піддіапазони частот.

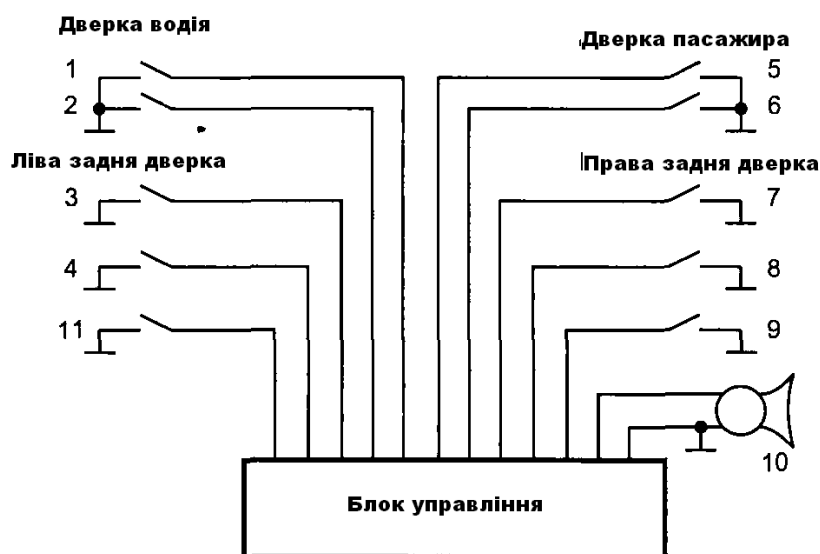


**Рисунок 6.11 - Тимчасовий і частотний поділ каналів**

### 6.3 Приклади автомобільних мультиплексних систем

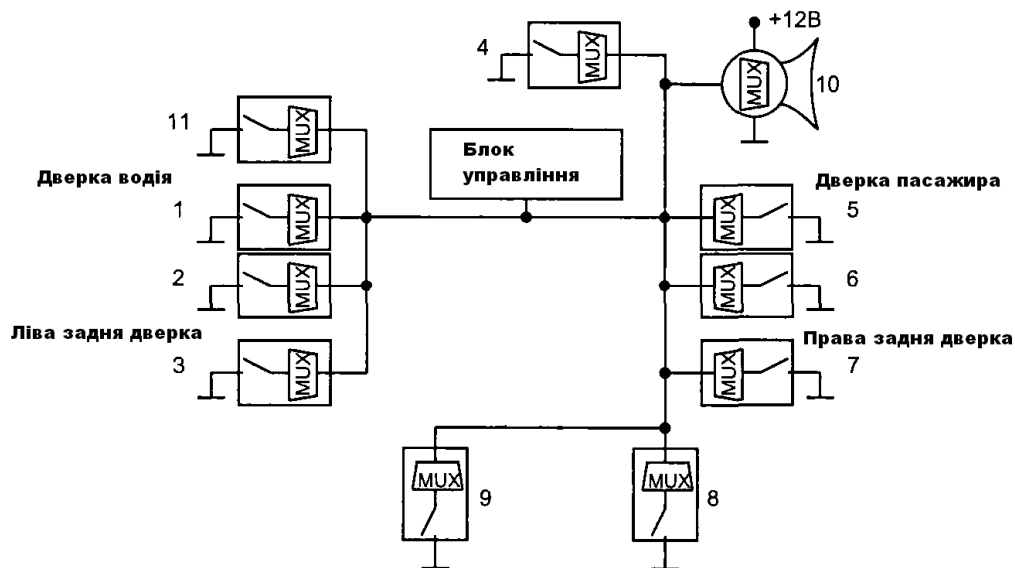
#### 6.3.1 Клас А

Системи класу А застосовуються переважно для спрощення і здешевлення електричних зв'язків між пристроями корпусної електроніки. Розглянемо приміром антивикрадальну систему зі структурою, показану на рисунку 6.12. Антивикрадальна система приводиться в черговий режим контактом 11, а вимикається — контактами замків дверей пасажира чи шофера або багажника. У робочому стані система включає клаксон 10 при спрацьовуванні одного з контактів: 1, 3, 4, 5, 7, 8. Датчики і виконавчі механізми у такому варіанті підключені безпосередньо до блоку управління через мультиплексори одним дротом. Поліпшені діагностичні можливості системи. Легше змінювати



**Рисунок 6.12 - Блок-схема антивикрадальної системи**

- 1 — контакт дверки водія,
- 2 — контакт замку дверей водія,
- 3 — контакт лівої задньої дверки,
- 4 — контакт на капоті,
- 5 — контакт дверки пасажирів,
- 6 — контакт замку дверки пасажирів,
- 7 — контакт правої задньої дверки,
- 8 — контакт на кришці багажника,
- 9 — контакт замку багажника,
- 10 — клаксон,
- 11 — контакт на приладовій панелі

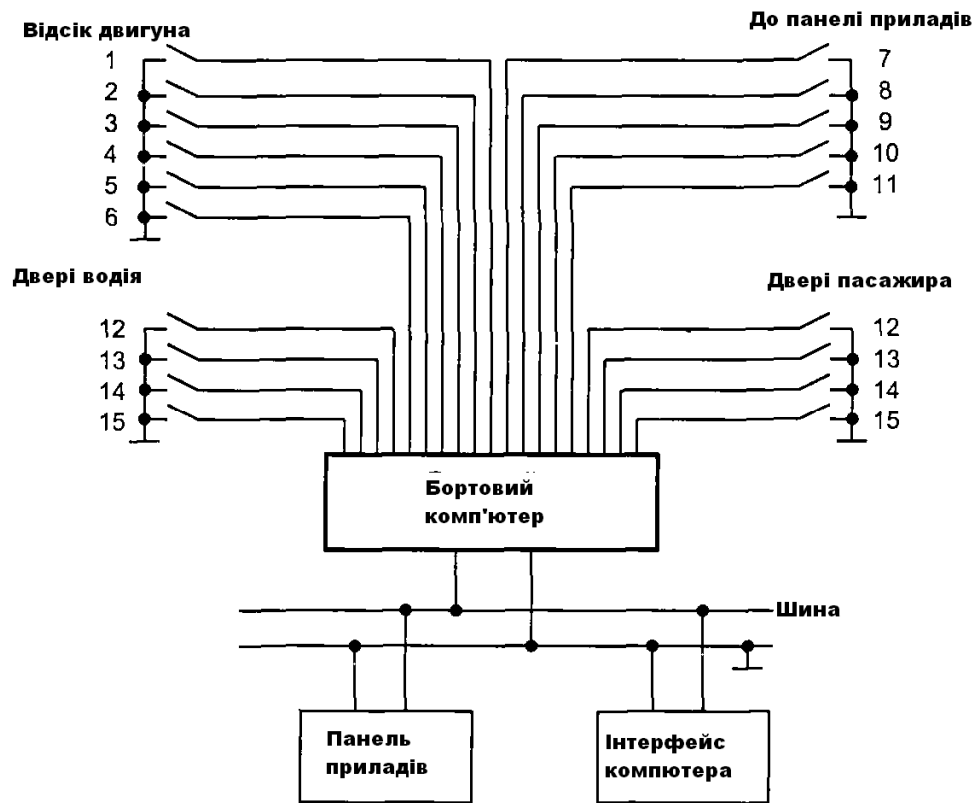


**Рисунок 6.13 - Блок-схема мультиплексної антивикрадальної системи**

конфігурацію антивикрадальної системи, підключаючи лише її до тієї самої шини через мультиплексори додаткових датчиків і виконавчі механізми. Мультиплексори — відносно нескладні мікроелектронні пристрої, які містять до 300 напівпровідникових вентилів. Їх інтегрують з датчиками і виконавчими механізмами. Цей пристрій може бути реалізований в мультиплексному варіанті (рисунок 6.13).

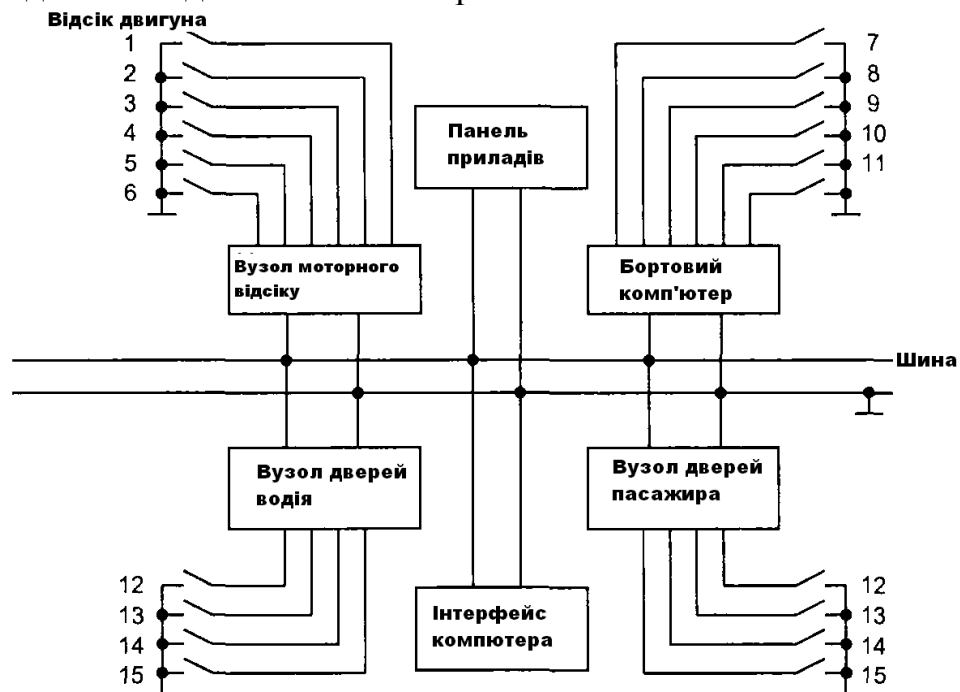
### 6.3.2. Клас В

На рисунку 6.14 показана частина типової інформаційної системи водія (ІСВ). Тут сигнали з датчиків надходять на бортовий комп'ютер, до шини даних якого підключена комбінація приладів.



**Рисунок 6.14 - Блок-схема інформаційної системи водія**

У спрощеному варіанті ІСВ число дротів в джгуті дуже велике, що виправдовує цю схему з'єднання. Проте, принаймні ускладнення електронних приладів автомобіля і збільшення кількості функцій інформаційної системи, кількість з'єднувальних дротів різко зростає, ускладнюється діагностика несправностей.



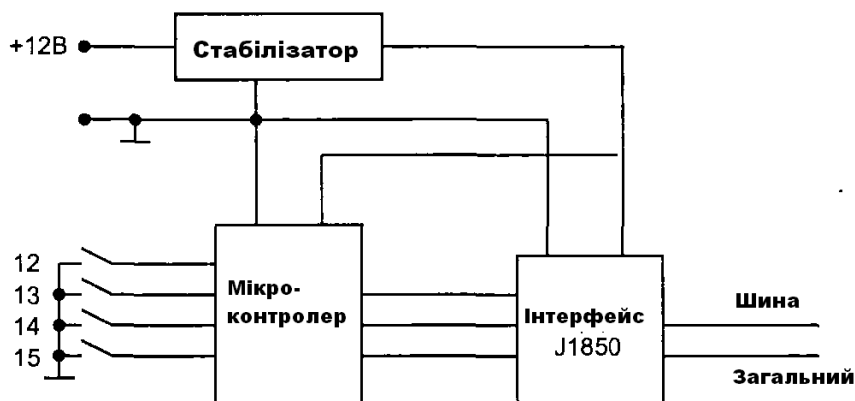
**Рисунок 6.15 - Блок-схема інформаційної системи водія з шиною класу В**

- 1 — рівень охолоджувача,
- 2 — тиск гальмівної рідини,
- 3 — рівень оливи,
- 4 — олива у коробці передач,

- 5 — омиваюча рідина,
- 6 — капот не закритий,
- 7 — фари включені,
- 8 — мало палива в баку,
- 9 — склоочисники включені,
- 10 — ключ в замку запалювання,
- 11 — прив'язні ремені,
- 12 — ручка дверки,
- 13 — замок,
- 14 — дверка закрита,
- 15 — дверка не зачинена

Можливим розв'язанням у такому випадку є введення кількох вузлів, поєднаних з шиною класу В, до яких підключаються відповідні датчики. При цьому намагаються зменшити розміри джгутів, які проходять через вузькі місця типу «дверцята — корпус». До вартості проводки додається вартість вузлів. На рисунку 6.15 приведена блок-схема ІСВ з шиною класу В, у якому цифрами позначені сигнали датчиків. Вузол моторного відсіку бажано інтегрувати з ЕБУ двигуна, куди вже підключена частина датчиків. Це здешевлює і спрощує схему, але не завжди можливо, та як зеднувач на ЕБУ зазвичай перевантажений.

Вузол дверки краще розташовувати у дверці, тоді джгут через проміжок спрощується, бажана також інтеграція електронних і механічних пристроїв у дверці. Структурна схема електронної частини пристроїв дверки показана на рисунку 6.16



**Рисунок 6.16 - Підключення пристроїв дверки**

Загальні зауваження до застосування вузлів.

1. Для зниження вартості вузли виробляються з урахуванням спеціалізованих мікросхем.

2. Єдина конструкція можлива під час використання мікропроцесорів у вузлах.

3. Комбінація «звичайний датчик — мультиплексний вузол» не полегшує діагностику датчиків. Не можна визначити, що саме несправне — датчик чи проводка.

По мірі значного ускладнення бортової автомобільної електроніки мультиплексні системи, виконані за класами А й В, стають не оптимальними. Кращим технічним рішенням є використання гібридної локальної мережі, де датчики і виконавчі механізми через канал класу А під'єднанні до бортового комп'ютера, а приладова панель і інтерфейс комп'ютера (дисплей і керівні органи) під'єднанні до комп'ютера через канал класу В, мультиплексори інтегровані у датчики і виконавчі механізми. Обмін даними проходить по одному дроту, додаткових вузлів немає, поліпшена діагностика з допомогою запровадження компонентів електроніки. Така конфігурація

системи дозволяє вводити додаткові датчики і виконавчі пристрої. Тепер у бортовому комп'ютері однією на виконавчий механізм можна підключати 7—14 датчиків.

### 6.3.3 Клас С

Дедалі більшу популярність завойовує протокол CAN, із застосуванням якого мультиплексні системи класу С можуть реалізовуватися у таких формах: 1. Через одну і ту саму мережу класу С виробляється обмін даними як додатків, що працюють у часі (управління двигуном, підвіскою, передачами), так додатків, обслуговуючих бортовий комп'ютер, контроль клімату салону, приладову панель. Швидкість обміну до 1 Мбіт/сек, лінія зв'язку — коаксіальний чи оптичний кабель. 2. Гібридна мережа класу В і С. Виробляється обмін даними між вузлами швидкісної мережі класу С відносно повільної мережі класу В. Шлюзом зазвичай буває контролер двигуна. 3. Інтеграція функцій управління у часі в найменше число модулів. Наприклад, ЕБУ двигуна може керувати ще й трансмісією. Під час такої архітектури потреба у дорогих мережах класу С зводиться до мінімуму.

## 6.4 Протоколи високих рівнів

Термін «протоколи високих рівнів» зазвичай належать до рівнів 3—7 моделі ВОС. На цих рівнях вирішуються питання упаковки даних, повідомлень, стандартизації додатків тощо. Коли функції додатку розподілені між кількома електронними блоками управління, необхідна максимальна незалежність програмного забезпечення додатку від локалізації функцій. Вже сьогодні автомобільні засоби зв'язку з зовнішнім світом, пристрої для розваги, мультимедіа кошти виробляють обмін пакетами даних між собою (радіоприймач, CD-програвач, мережевий телефон, бортовий комп'ютер, навігаційна система). Ці пакети значно перевищують розміри кадрів даних, які можна передавати по автомобільній комунікаційній шині. Розбирання і складання пакетів цих даних виробляється під керівництвом протоколів високих рівнів. З цих причин розробка й стандартизація протоколів високих рівнів важлива для автомобільної промисловості. Протоколи високих рівнів мають забезпечувати:

- надійні й ефективні процедури обміну довгими послідовностями даних;

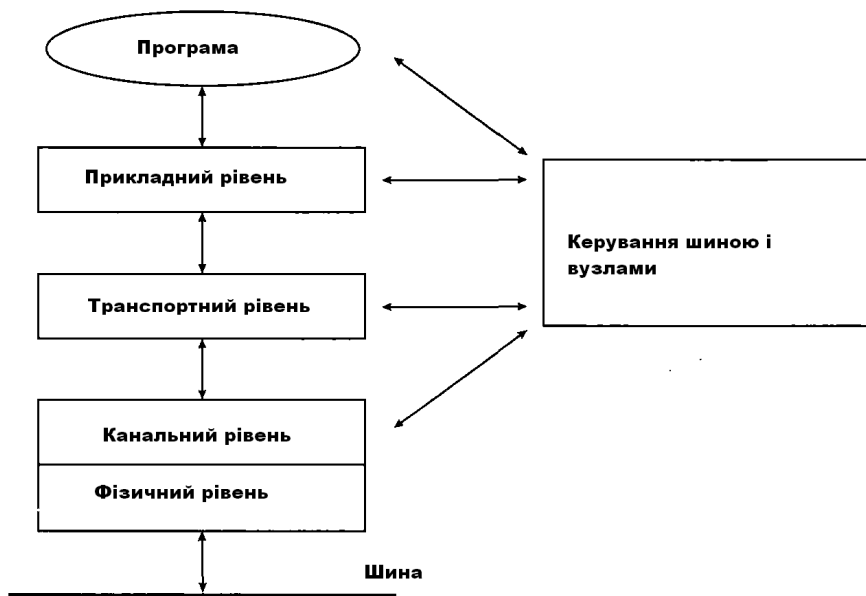


Рисунок 6.17 - Спрощена модель ВОС

- незалежність програмного забезпечення додатків від конфігурації мережі й устаткування;

• зручність інтерфейсу для програміста. Семирівнева модель ВОС добре підходить до великих комп'ютерів, і мереж, де не потрібні комунікації у часі. Для автомобілів ця модель спрощується до двох верхніх рівнів —прикладного й транспортного, як показано на рисунку 6.17. Прикладний рівень забезпечує інтерфейс для програміста, вирішує задачу по одержанні і посилці даних, необхідних при управлінні різними системами автомобіля. На транспортному рівні здійснюється розбирання і складання пакетів. Блок управління мережею і вузлами виробляє контроль мережі й вузлів, виявляє несправності, активізує мережу чи переводить її у неактивний режим. Цей блок взаємодіє безпосередньо з усіма рівнями мережевої моделі і додатком.

#### 6.4.1 Транспортний рівень

Транспортний рівень має забезпечити передачу довільно довгих повідомлень між об'єктами прикладних рівнів.

► Якщо довжина повідомлення перевищує розмір кадру, який передався по комунікаційній шині, повідомлення поділяється на кілька пакетів. Повідомлення передається з прикладного рівня на транспортний, де поділяється на сегменти, відповідні розміру одного кадру. До кожного кадру транспортний рівень додає свою управляючу інформацію протоколу (PCI — protocol control information). Керуюча інформація використовується транспортним рівнем на приймаючій стороні для відновлення вихідного повідомлення і передачі його приймаючому прикладному рівню. Керуюча інформація протоколу містить інформацію про число кадрів в вихідному повідомленні, номер поточного кадру у міжнародному сполученні, і необхідна щоб виявляти і виправляти помилки типу пропуску чи дублювання кадру.

► Керуюча інформація протоколів високого рівня зазвичай розміщується на полі даних кадру низького рівня (рисунк 6.18, а). У автомобільних мультиплексних системах іноді управляюча інформація протоколу розміщується в управляючому (арбітражному) полі кадру низького рівня (рисунк 6.18, б). Ця технологія робить мультиплексну систему більш швидкодіючою, але збільшує залежність від протоколів низького рівня життя та застосовуваної апаратури.

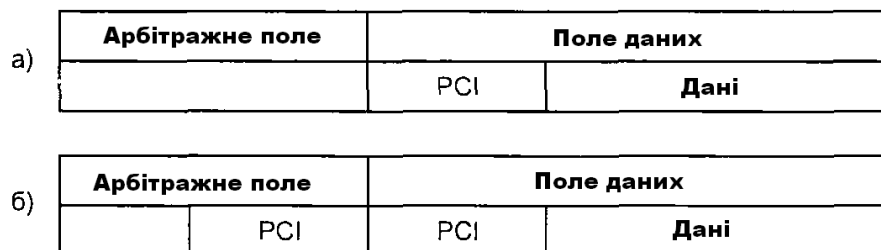


Рисунок 6.18 – Управляючі поля кадру



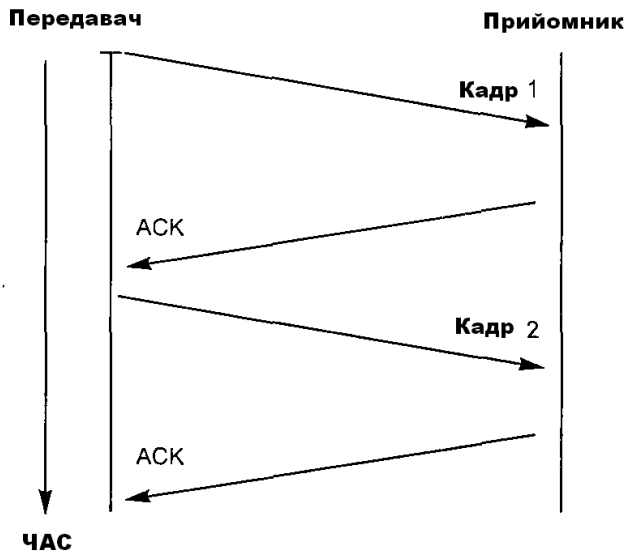


Рисунок 6.19 – Підтвердження приймачем кадру

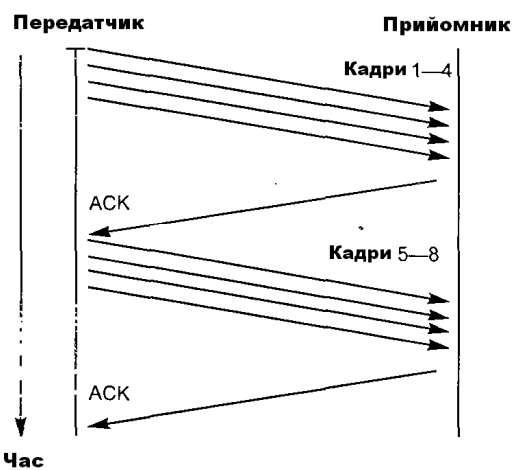


Рисунок 6.20 – Блоки кадрів

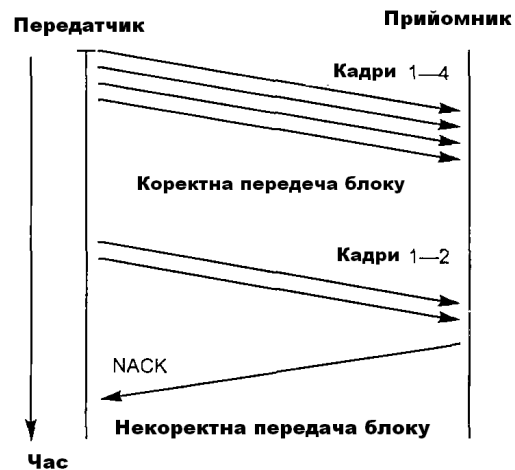


Рисунок 6.21 – Блоки зменшення кадрів

► Механізм управління потоком повідомлень (трафіком) включає використання двох видів підтверджень:

- позитивне підтвердження АСК. (скорочення від acknowledge);
- негативне підтвердження NACK (скорочення від negative acknowledge).

Позитивне підтвердження сигналізує передавачу, що кадр було прийнято правильно і приймач готовий узяти наступний кадр. Позитивне підтвердження необхідно, коли передавачу невідома швидкість прийому повідомлень приймачем. Позитивне підтвердження може бути, наприклад, використано для синхронізації передачі між швидкодіючою і повільною шиною без буферизування. В цьому випадку швидкість обміну визначається можливостями повільної шини. У мережі можуть бути реалізовані режими, коли приймач квитирує (підтверджує) кожен ухвалений кадр (рисунок 6.19) чи блок кадрів (рисунок 6.20), що більш ефективно в смислі швидкодії мультиплексної системи. Негативне підтвердження видається приймачем до мережі, коли щось відбувається неправильно. Режим роботи з негативним підтвердженням може збільшити швидкодію мережі, бо за відсутності помилок число кадрів, переданих від передавача до приймача, а отже і час їх передачі зменшується (рисунок 6.21). Насправді можна використовувати різні комбінації механізмів керування передаванням

даних у мережі.

► І приймач, і передавач може мати дані на виявлення й виправлення помилок.

Приклади помилок, які можна виявити:

- приймач недоотримав кадр у встановлений час;
- приймач отримав некоректний кадр, наприклад, не з тим номером
- приймач не закінчив обробку отриманого кадру, але готовий отримати наступний кадр;
- передавач не отримав позитивне підтвердження у визначений час. Коли передавальний об'єкт па транспортному рівні виявляє помилку, він може поступити так:
  - повторити передачу кадру;
  - повторити передачу всього повідомлення;
  - припинити передачу і подати подальші дії додатку.

#### 6.4.2 Прикладний рівень

Прикладний рівень являється необхідною платформою для створення додатків. Він приховує деталі апаратури і мережеві конфігурації. На прикладному рівні створення додатків для мультиплексних і централізованих систем мало чим відрізняється. Додаток використовує дані і межахприкладного рівня і йому байдуже, локальні це дані чи отримані по комунікаційної шині.

► На прикладному рівні форматується кадр з такими даними з додатку:

- ім'я кадру та його ідентифікатор;
- місце розташування змінних (параметрів) у кадрі;
- формат уявлення параметрів;
- одиниця виміру параметра;
- припустимий діапазон значень;
- роздільна здатність;
- формула,

яка перетворює числове значення у кадрі (N) в значення, яке має фізичний сенс (E). У таблиці 6.1 наведено приклад кадру

Імя кадра	Температура
Ідентифікатор	40hex
Назва змінної	Забортна температура
Розміщення	БАЙТИ 0 і 1
Формат	16-ти бітовий
Одиниця виміру	°C
Діапазон	-40...+50
Дозвіл	0,1
Формула	$N = (E + 40) \cdot 10$

При декодуванні кадру даних потрібно визначити, чи допустиме отримане значення параметра чи ні (наприклад, при несправності датчика). Це робиться чи шляхом додавання в кадр спеціального поля, котрий фіксує достовірність/недостовірність значень параметрів, чи безпосереднім аналізом поточних

значень параметрів на приймаючій стороні.

► На прикладному рівні визначається, коли повідомлення має бути відправлено чи прийнято. Відправлення проводиться по часу, чи внаслідок обробки події. Подією може бути: зміна стану датчика, значення, що вийшло друком за поставлені межі; запит від іншого вузла тощо. Передача за часом ведеться для параметрів, які повинні бути доступні всій мультиплексній системі. Такі перемінні ділять на групи з різноманітною необхідною швидкістю відновлення і передачі значень. Під час прийому повідомлень на прикладному рівні, повідомлення розпаковується відповідно до прийнятого формату кадру, і дані передаються активному додатку.

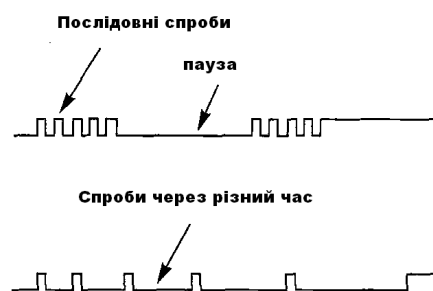
► На прикладному рівні можна реалізувати кілька моделей взаємодії між вузлами. У моделі із загальною пам'яттю обмін інформацією виробляється з допомогою операцій запису і читання. Дані відразу стають доступними для всіх процесів, які беруть участь. У мультиплексній системі ніякої спільної пам'яті фізично немає, її створюють програмним забезпеченням прикладного рівня.

У моделі «клієнт — сервер» взаємодія між процесами здійснюється способом, коли деякий процес (сервер) здатний виконувати операції з запиту іншого процесу (клієнта), розміщеного в іншому вузлі. Наприклад, при діагностиці сканер посилає через мережу запит ЕБУ і він отримує у відповідь значення параметрів чи коди помилок.

### 6.4.3 Управління мережею (диспетчеризація)

Призначення управління (диспетчеризації) мережі — підтримувати її коректну (штатну) роботу. При цьому мають здійснюватися обробка помилок, контроль конфігурації мережі й правильності її роботи, обмеження доступу й забезпечення збереження інформації у мережі. Для автомобільних систем найважливішими є обробка помилок, і контроль конфігурації. Від правильності реалізації диспетчерських функцій залежить здатність мережі протистояти відмовам. Диспетчеризація складається на локальному і мережному рівнях.

► Локальна диспетчеризація здійснюється на рівні вузлів. Виробляється конфігурування і ініціалізація вузлів, управління рівнями лише на рівні вузла, виявлення несправностей і прямих помилок. Для локального диспетчера не потрібно посылати будь-які повідомлення через мережу. При включенні вузла локальний диспетчер конфігурує каналний рівень, наприклад, в мікросхемі CAN. Після виявлення несправності диспетчер намагається перезапустити і реконфігурувати каналний рівень. Перезапуск проводиться по різним алгоритмам, як показано на рисунку 6.22.



**Рисунок 6.22 - Алгоритми перезапуску шини CAN**

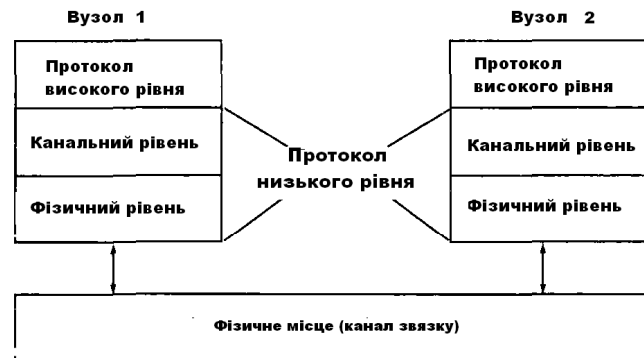
Диспетчеризація на мережному рівні забезпечує:

- визначення та контроль конфігурації мережі;
- включення мережі;

- перехід від неактивного до активного режиму і навпаки. Диспетчеризація виробляється централізовано чи децентралізовано. При централізованому підході один вузол виконує функції диспетчера мережі. На підвищення надійності системи має бути передбачений механізму передачі диспетчерських функцій іншому вузлу у відмові першого. При централізованому підході потрібно менше ресурсів, аніж за децентралізованому. При децентралізованому підході кожен вузол оснастили набором диспетчерських функцій. Вузли постійно обмінюються спеціалізованою диспетчерською інформацією. Мережа виявляється здатною продовжувати роботу, з меншими можливостями, навіть при відмові кількох вузлів.

### 6.5 Протоколи низького рівня (шинні)

Ці протоколи ставляться до двох нижніх рівнів моделі ВОС: каналного й фізичного (рисунок 6.23).

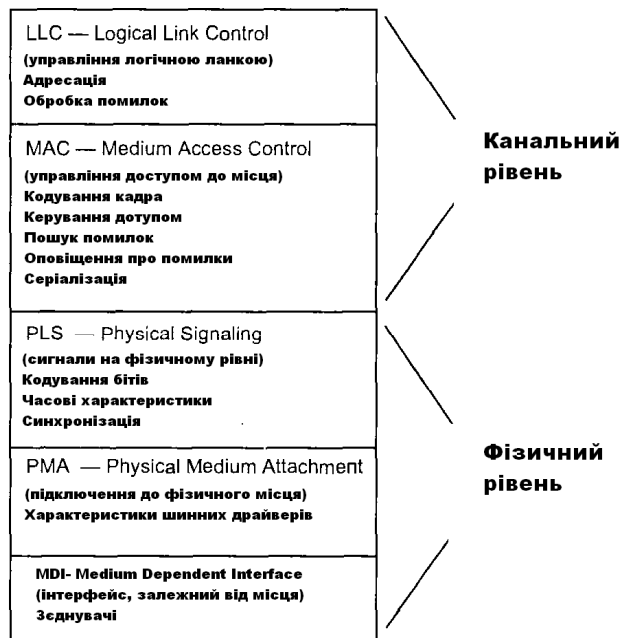


**Рисунок 6.23 - Протокол низького рівня**

На каналному рівні визначаються функції, необхідні для надійної й ефективної передачі між вузлами в одній й тій самій мережі. Це адресація, організація кадрів, виявлення помилок під час обміну даними у мережі. На фізичному рівні визначають електричні, механічні й інші фізичні характеристики інтерфейсу для підключення вузла у мережі. Розглядаються питання специфікації шинних з'єднувачів, мережних адаптерів, кодування, синхронізації тощо. Різні додатки пред'являють різні вимоги на фізичному рівні, при цьому основними параметрами під час проектування є:

- швидкість і відстань від передачі даних по шині;
- надійність;
- електромагнітна сумісність;
- відповідність стандартам і рекомендованій практиці;
- шинна топологія.

Канал зв'язку (електричні дроти чи оптичні кабелі) перебуває нижче фізичного рівня життя і в модель ВОС не входить (рисунок 6.23). Прикладами протоколів низького рівня, розроблених спеціально для автомобільної промисловості, є: CAN (controller area network — Bosch, Intel), VAN (vehicle area network — Renault, Peugeot), VNP (vehicle network protocol -- Ford).



**Рисунок 6.24 - Докладне уявлення нижніх рівнів**

У локальних мережах персональних комп'ютерів часто застосовується протокол Ethernet, якого у автомобільних системах немає. При розгляді протоколів низького рівня канальний і фізичний рівні моделі ВОС додатково поділяються на підрівні, що дозволяє розглядати перебіг передвиборних процесів докладніше (рисунок 6.24).

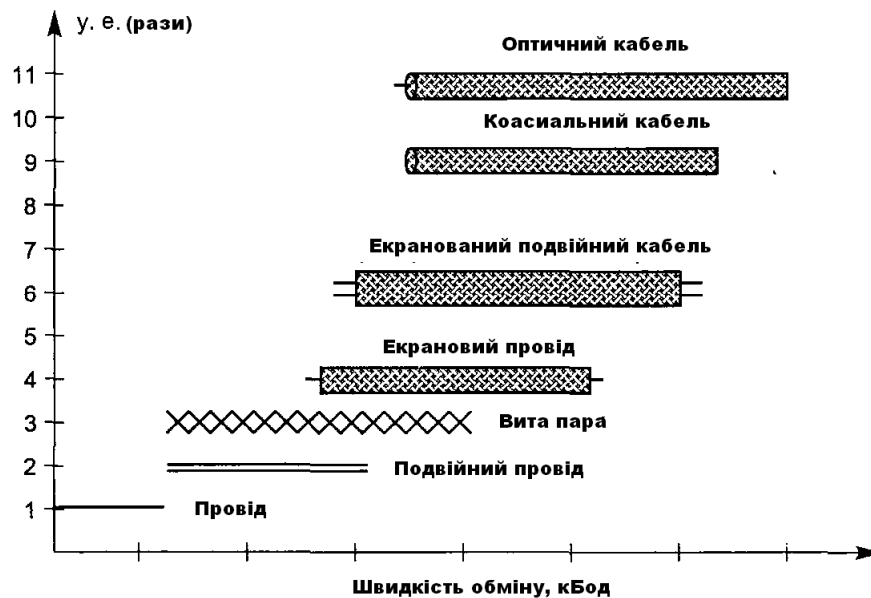
### 6.5.1 Канал зв'язку

Канал зв'язку фізично з'єднує вузли, при обміні даними під час передачі сигналів електричним, оптичним або іншим методом. Нижче наводяться приклади реалізації каналів зв'язку в порядку зростання їх вартості:

- одиночний провід;
- два дроти;
- вита пара;
- екранована вита пара;
- коаксіальний кабель;
- оптичний кабель;
- інфрачервоне випромінювання;
- радіоканал.

Інфрачервоне випромінювання і радіоканал передачі даних із шини всередині автомобіля сьогодні не застосовуються. Пристрої з цими передаючими каналами використовують для обміну даними між автомобілем і довір'ям, наприклад: дистанційне відмикання замків на дверях, включення охоронної сигналізації, отримання дорожньої інформації, попередження про зіткнення тощо. Оптичні лінії зв'язку також поки що не знаходять застосування в автомобільних мультиплексних системах. Оптичні кабелі, здатні експлуатуватися в температурному режимі, характерному для автомобіля, коштують дорого, ще, з їх допомогою важко реалізувати мережі з шинною топологією (зіркоподібна чи кільцева топологія реалізується простіше). Сьогодні у автомобільних мультиплексних системах інформація передається, зазвичай, дротами. Однопровідна схема використовується при низьких швидкостях обміну, трохи більше 10...20 Кбіт/сек. При більш високих швидкостях передачі застосовуються кручені пари і екранування, при цьому зменшується паразитне електромагнітне випромінювання. При високих швидкостях обміну й малій потужності

сигналу доцільне використання коаксіального кабелю. У цьому важливо враховувати удільні електричні характеристики каналу зв'язку, такі як: опір (Ом/м), згасання (дВ/м), затримку поширення (нс/м), допустиму максимальну довжину лінії. Враховується також маршрут прокладки лінії зв'язку в автомобілі та максимальна довжина відводів до вузлів (для шинної топології).



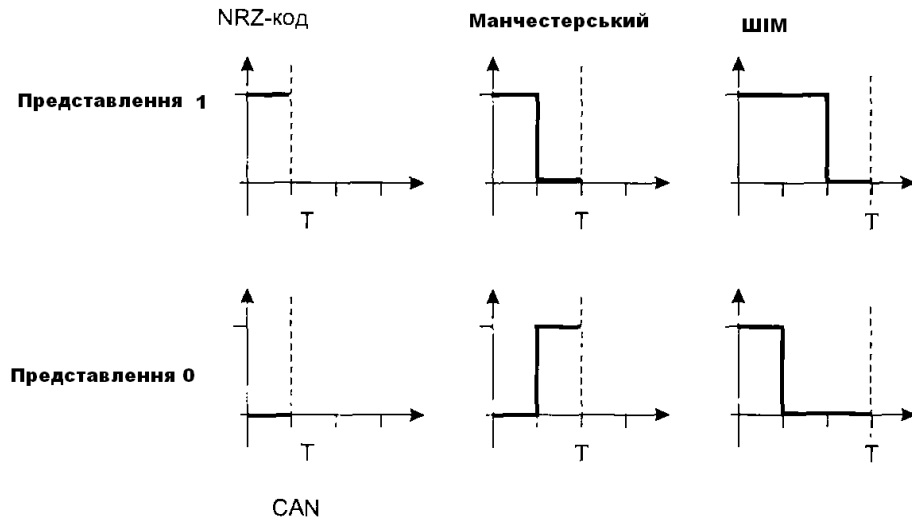
**Рисунок 6.25.** Вартісні і експлуатаційні характеристики різних ліній зв'язку

### 6.5.2 Підрівні MDI і PMA

У автомобільних мультиплексних системах сигнали передаються на відносно високій частоті і мають малу потужність. З огляду на це для з'єднувачів важливими параметрами на підрівні MDI є перехідний опір контактів, максимальна частота каналізації, можливість підключення екрана. На підрівні PMA фізичного рівня визначаються характеристики шинних драйверів (формуваців) і приймачів. Ємність передавальної лінії і струмоформувальна здатність джерела сигналів обмежує довжину лінії, при якій можлива надійна передача. Так, TTL-формуваць може надійно працювати у лінії, довжина якої не перевищує 70см. Для розширення діапазону передачі використовуються спеціалізовані інтегральні мікросхеми — лінійні формувачі (драйвери) і лінійні приймачі (мережні адаптери). Ці пристрої підключаються до лінії.

### 6.5.3 Сигнали на фізичному рівні (підрівень PLS)

На підрівні PLS розглядаються питання представлення бітів, синхронізації, двійкове кодування. Коли комп'ютери і термінали розділені великими відстанями, є економічно вигіднішим запровадити тимчасове настроювання в сам сигнал, замість того щоб використовувати окремий канал синхронізації. Тобто ми домовилися до поняття так званого самосинхронізуючого коду. З використанням кодів, які є самосинхронізованими, виникає проблема, яка полягає у тому, що синхросигнал і дані можуть змінитися, коли поширюються по окремим каналам. Синхросигнал пришвидшується чи сповільнюється щодо інформаційного сигналу, що означає, що у приймача виникають проблеми з настроюванням приймання інформаційного сигналу, його захопленням.



**Рисунок 6.26 - Приклади кодування біта**

Ідея у тому, щоб мати код до регулярних і частих змінах (переходів) рівнів сигналу в каналі. Переходи здійснюють поділ двійкових елементів даних (одиниць і нулів) в приймачу, а логічні схеми постійно відстежують зміни стану для того, що виділяти одиниці, і нулі з потоку бітів з метою настройки. Стробування зазвичай виробляється приймачем звищою швидкістю, ніж швидкість зміни даних, щоб точніше визначити елементи даних.

На рисунку 6.26 показані способи уявлення бітів в системах кодування, що застосовуються у мультиплексних мережах. Тут  $T$  — час для подання одного біта. Зауважимо, що реальні сигнали не є такими прямокутними, з крутими фронтами, як показано на рисунку 6.26. Для коду без повернення до нуля (NRZ-код) рівень сигналу є постійним для кожної послідовності однойменних бітів. І тут рівень сигналу залишається низьким для біта 0 зростає до деякого високого рівня напруги для біта 1 (у багатьох пристроях для 0 і 1 використовуються протилежні по полярності значення напруги). Код NRZ широко використовується для передачі даних внаслідок своєї відносної простоти і низької вартості. NRZ-код забезпечує дуже ефективне використання смуги частот, бо він може представляти біт для кожної зміни сигналу. Проте його недоліком є відсутність здібності самосинхронізації, оскільки довгі серії одиниць і нулів які йдуть підряд, не призводять до змін стану сигналу в каналі. У результаті може відбутися неузгодженість (дрейф) таймера приймача стосовно поступаючого сигналу і невчасне опитування лінії, передавач і приймач можуть фактично втратити взаємну синхронізацію. NRZ-код може бути полярним і біполярним залежно від конкретної реалізації. Код з поверненням до нуля (RZ-код) передбачає, що у поданні кожного біта сигнал змінюється по один раз. Оскільки RZ-коди забезпечують зміну стану для кожного біта, ці коди мають дуже хороші властивості синхронізації. Основний недолік RZ-кода у тому, що він потребує двох переходів (змін) сигналу для кожного біта. Отже, RZ-код зажадає вдвічі більшої швидкості (в бодах) у порівнянні з звичайним кодом. Як приклад RZ-кодів малюнку 6.26 показані манчестерський код і широтноімпульсна модуляція. У автомобільній мультиплексній шині CAN використовується NRZ-код.

#### **6.5.4 Управління доступом до середовища (підрівень MAC)**

Локальні мережі звичайно є рівноранговими, тобто статус всіх вузлів однаковий, вони теж мають рівні права на доступ до мережі. З іншого боку, лише один вузол може

передавати дані до мережі у будь-який конкретний час. Необхідний механізм контролю за доступом до шини (середовища), що й реалізується на підрівні MAC. Метод доступу CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) — метод множинного доступу з контролем несучої і виявленням колізій. Коли той чи інший пристрій готовий до передачі даних в мережу, він видає на шину запит для перевірки того, чи не передаються вже через цю мережу будь-які дані. Якщо мережа зайнята, контролер чекає протягом деякого довільного інтервалу часу, щоб виконати ще одну спробу передати дані. Якщо лінія мережі досі зайнята, контролер чекатиме довше до наступної спроби. Оскільки кожний контролер у мережі чекає протягом довільного, випадково обраного інтервалу часу, є можливість того, що всі пристрої приймуть з шини призначені їм повідомлення, зростає. Щоб виключити зіткнення, контролер, передаючи дані, неперервно контролює стан шини. Якщо контролер виявляє, що у шині вже є дані, передані не ним, він доходить висновку, що зіткнення, швидше за все, вже сталося, і призупиняє передачу. Оскільки і той контролер, що передав дані, які визвали зіткнення, постійно запитує шину, він також припиняє передачу. Обидва контролера після цього очікують протягом довільного інтервалу часу, щоб спробувати знову передати весь блок даних. Обрана у випадковому порядку тривалість періоду очікування підвищить ймовірність те, що обидва контролера можуть передати дані через мережу без повторного зіткнення. Якщо воно все-таки відбувається, середня тривалість періоду очікування збільшується. Метод доступу CSMA/CD-A відрізняється від CSMA/CD наявністю арбітражу при колізіях, що використовують у CAN, VAN, VNP та інших автомобільних шинних протоколах. Кожен пакет даних, який рухається по мережі, постачається пріоритетом. Якщо декілька вузлів одночасно намагаються вести передачу даних, вузли, які передають дані з нижчими пріоритетами, знайдуть колізію і припинять передачу. Вузол, дані від якого мають найвищий пріоритет, продовжить передачу. Це обмежує максимальну довжину лінії для заданої швидкості передачі. Наприклад, максимальна довжина електричної лінії для реалізації CAN-протокола зі швидкістю передачі 1 Мбіт/сек трохи більше 40 метрів. Обмін даними в автомобільних мультиплексних системах може здійснюватися по різних протоколах, які зведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

	<b>A-BUS</b>	<b>CAN</b>	<b>J1567</b>	<b>J1850</b>	<b>J2058</b>	<b>VAN</b>	<b>J2106</b>
Клас SAE		B, C	B	B	A		C
Розробник	VW	ISO, Bosch	Chrysler	Ford, GM, Chrysler	Chrysler	ISO	GM
Лінія зв'язку	Провод	Витая пара, оптическая	Витая пара	Витая пара	Провод	Витая пара	Витая пара, оптическая
Код	NRZ	NRZ + вставка бита	NRZ	ШИМ	NRZ	MAN	NRZ + вставка бита
Доступ до місця	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Детерм.	Недетерм.	Недетерм.
Швидкість обміну в секунду	500 кбит	1 Мбит	8 кбит	42 кбит	1 кбит	Визначас користувач	2 Мбит



## **Тема 7 Протокол CAN для автомобільних мультиплексних систем**

### **7.1 Попередні зауваження**

### **7.2 Архітектура протоколу CAN**

### **7.3 Передає середовище і нижні підрівні протоколу CAN**

### **7.4 Підрівень PLS**

### **7.5 Підрівень MAC (Управління доступом до середовища в CAN)**

### **7.6 Підрівень LLC**

#### **7.6.1 Можливості підрівня**

#### **7.6.2 Обмеження поширення помилок**

### **7.1 Попередні зауваження**

Протокол CAN розроблений інженерами фірми R.Bosch GmbH для застосування автомобілями. Протокол відповідає міжнародним стандартам ISO 11898 і ISO11519, практично використовується кількома виробниками електронних приладів. Протокол CAN визнаний автомобільними виробниками Європи, використовується на сучасних легкових автомобілях, вантажівках, автобусах, сільськогосподарському транспорті, в морському обладнанні, для автоматизації виробництва [14].

Протокол CAN підтримує метод доступу CSMA/CD-A до мережі із рівно-ранговими вузлами. Пакет даних має розмір не більше 8 байт і передається по послідовній шині. 15-бітовий циклічний контроль надмірності забезпечує високий рівень цілісності даних.

Нині виробляються декілька типів CAN-контролерів, які можна розділити на три групи залежно від підтримки ними розширеного формату кадру:

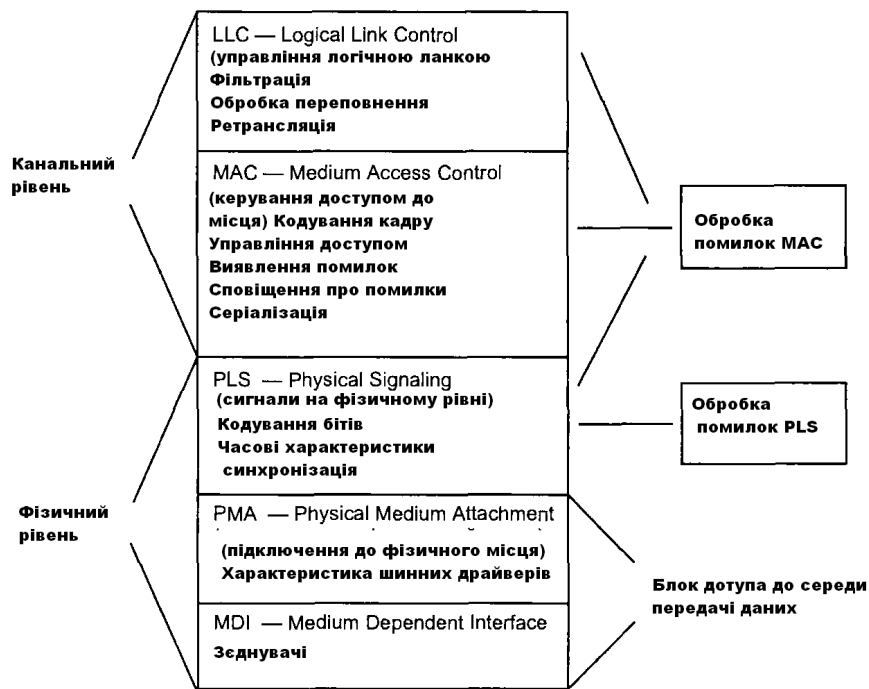
- контролери v2.0A. Підтримують лише стандартний формат, що неспроможні працювати у мережі, де передаються кадри розширеного формату;
- контролери v2.0B, пасивні. Підтримують лише стандартний формат, але можуть працювати у мережі, де передаються кадри розширеного формату;
- контролери v2.0B, активні. Підтримують операції з кадрами стандартного і розширеного форматів.

Контролери CAN класифікуються як і повні або базові залежно від організації буферизації даних.

Повний CAN-контролер має певну кількість (зазвичай 14) спеціалізованих буферів для тимчасового зберігання повідомлень. При ініціалізації CAN-контролера можна сконфігурувати його, вказавши, який кадр буде надходити до якого буфера.

### **7.2 Архітектура протоколу CAN**

У стандартах Міжнародної організації стандартизації для протоколів CAN ISO 11898 (висока швидкість обміну) і ISO 11519 (низька швидкість обміну) регламентується рівнева структура відповідно з стандартами LAN (локальні мережі) ISO8802-2 і 8802-3. Протокол CAN належить до двох нижніх рівнів моделі ВОС, як показано на рисунку 7.1.



**Рисунок 7.1 - Рівнева архітектура CAN**

На фізичному рівні визначаються електричні характеристики з'єднувачів, шинних адаптерів, двійкове кодування, синхронізація.

Фізичний рівень розділений на три підрівні:

- MDI (medium dependent interface) — підрівень інтерфейсу, що залежить від фізичного носія (передає середовище);
- PMA (physical medium attachment) — підрівень під'єднання до фізичного середовища;
- PLS (physical signaling) — сигнали на фізичному рівні.

На каналному рівні визначається формат кадру, виявлення і передача помилок під час трансляції, автоматична ретрансляція даних, фільтрація. Канальний рівень розділений на два підрівня:

- MAC (medium access control) — управління доступом до середовища;
- LLC (logic link control) — управління логічним каналом.

### 7.3 Передає середовище й нижні підрівні протоколу CAN

Протокол CAN переважно призначений для мереж з шинної топологією і електричними проводами як каналу зв'язку (передавального середовища). Можуть застосовуватися і інші передавачі середовища, здатні підтримувати стан високого/низького рівнів, що необхідне для здійснення побітового арбітражу.

Міжнародна організація стандартизації визначила стандарт ISO 11519-2 для шин CAN зі швидкістю обміну до 125 Кбіт/сек і ISO 11898 для швидкості обміну вище 125 Кбіт/сек. Ці стандарти різняться лише специфікаціями нижніх підрівнів MDI і PMA фізичного рівня протоколу CAN у питаннях підключення до передавального середовища (шини).

Підрівні MDI і PMA іноді називають блоком MAU — medium access unit (блоком доступу до середовища передачі даних). На рисунку 7.2 показано підключення до шини CAN відповідно до цих стандартів. Швидкісний канал зв'язку створений двох-провідною лінією (рисунок 7.2, я), до обох кінців якої підключені характеристичні опори подолання

відображень. Це диференційна лінія з придушенням синфазних перешкод. За рахунок низького характеристичного опору лінія має хорошу стійкість до перешкод, якщо використана вита пара.

Повільний канал зв'язку також виконаний двох-провідним (рисунок 7.2,б).

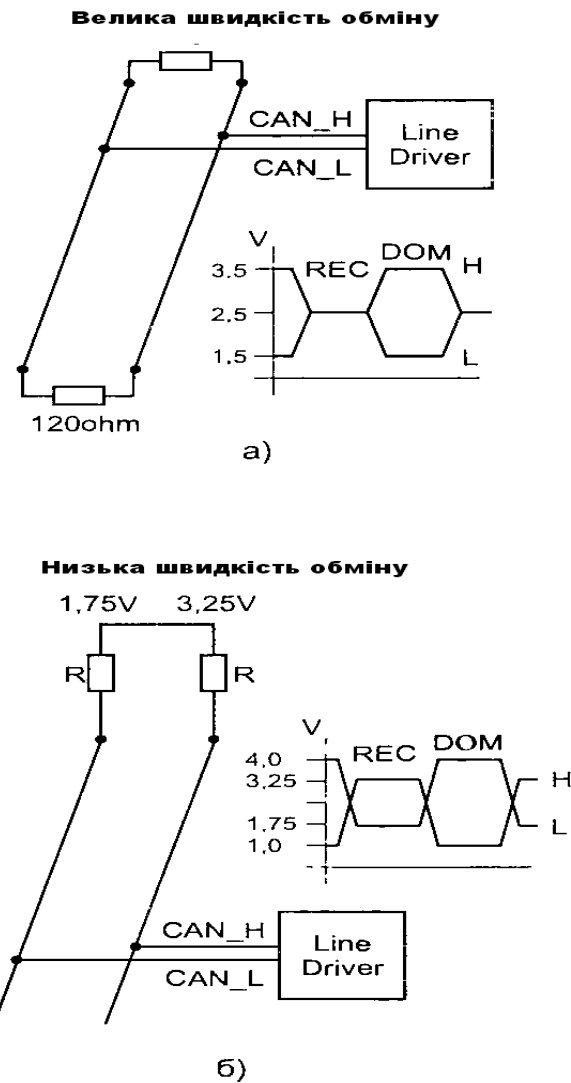


Рисунок 7.2

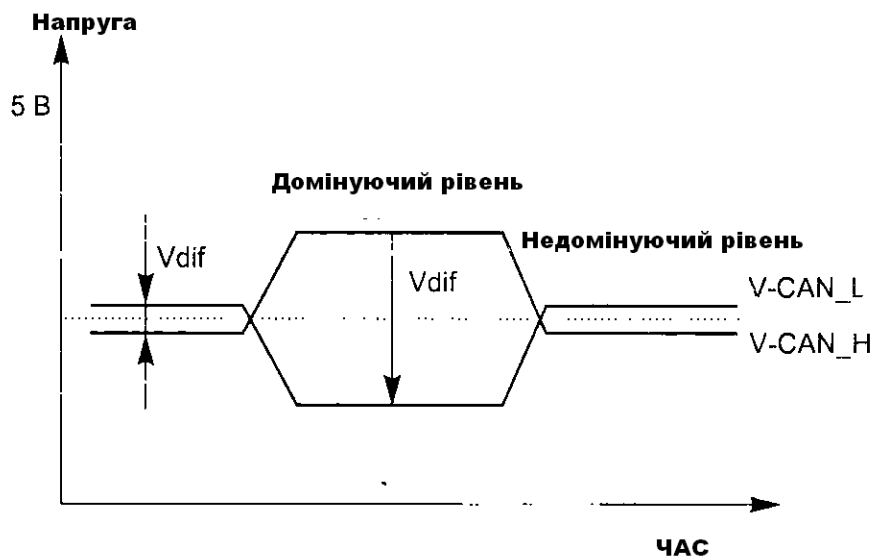
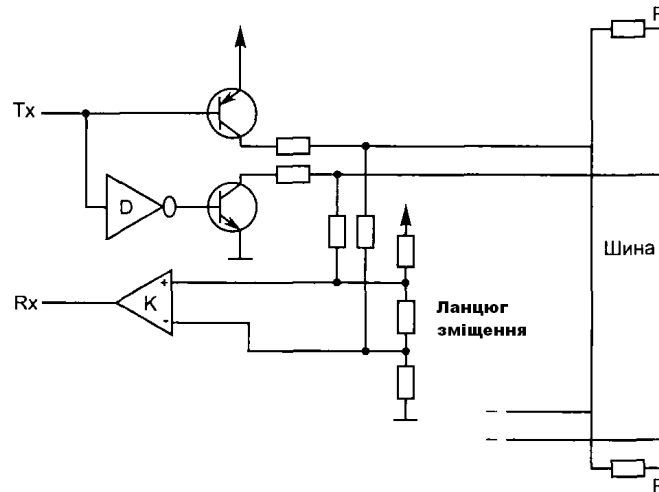


Рисунок 7.3

► Підрівень РМА (підключення до фізичного середовища) визначає характеристики шинних драйверів і приймачів.

У цьому, лінії шини CAN можуть міститися у одному з цих двох станів: домінуючого рівня (dominant) і домінуючого рівня (recessive). Якщо один із вузлів встановлює шину в стан домінуючого рівня, вона буде встановлена, незалежно від станів інших вузлів. Ці стани визначаються диференційною напругою між провідниками шини, званими CAN\_H і CAN\_L (рисунок 7.3). Величина диференціальної напруги для стану домінуючого рівня становить  $1,5...3\text{ V}$ , для стану не домінуючого рівня -  $-0,5...+0,05\text{ V}$

На рисунок 7.4 схематично показано підключення лінійного драйвера до швидкісної шини.



**Рисунок 7.4 - Підключення драйвера до шини**

Коли логічний рівень сигналу на вході Tx дорівнює «1», обидва транзистора в вихідному каскаді закриті і вихід драйвера перебуває у високодисперсному стані. Шина перебуває у стані не домінуючого рівня, диференціальна напруга приблизно дорівнює нулю, напруга зміщення близько  $2,5\text{ V}$ .

При подачі сигналу «0» на вхід Tx обидва транзистора відмикаються, диференціальна напруга стає рівним близько  $2,5\text{ V}$ , шина перетворюється на стан домінуючого рівня.

Наявність ланцюга зміщеної напруги гарантує зміну полярності сигналів на входах компаратора «К» при переході шини від одного стану до іншого.

#### **7.4. Підрівень PLS**

На підрівні PLS реалізуються двійкове кодування і синхронізація, визначається час передачі біта.

► Протокол CAN використовує двійкове кодування (NRZ-код), тобто в час передачі біта не може бути ніяких переключень рівнів, які б використовувалися для синхронізації (рисунок 6.26). Це пред'являє високі вимоги до стабільності частоти генераторів (використовуються кварцові). Доводиться вводити розділювальні сигнали в послідовності однойменних бітів для полегшення синхронізації.

► Час передачі одного біта схематично представлено на рисунку 7.5. Протягом цього часу виконуються функції по управлінню шиною, такі як синхронізація ЕБУ, компенсація запізнювання в лінії, позиціонування моменту опитування (стробіювання).

Тривалість окремих сегментів в квантах програмується часо-задавальною логікою адаптерів CAN. Тривалість кванта пов'язана з роздільною здатністю підрівня PLS.

Сегмент SYNC\_SEG використовується для синхронізації різних ЕБУ, підключених до шини. Зміна рівня сигналу (наприклад, з «0» на «1») передбачається у цьому сегменті. Його тривалість завжди дорівнює одному кванту.

Сегмент PROP\_SEG служить для компенсації тимчасових затримок при розповсюдженні сигналу в лінії і проходженні його через адаптери.

Сегменти PHASE\_SEG1 і PHASE\_SEG2 компенсують помилки фази, вони можуть бути подовжені або вкорочені при ресинхронізації.

Момент опитування — точка часу, коли стан шини інтерпретується як значення відповідного біта.

► Синхронізація проходить у момент переходу шини зі стану недомінуючого рівня у стан домінуючого рівня.

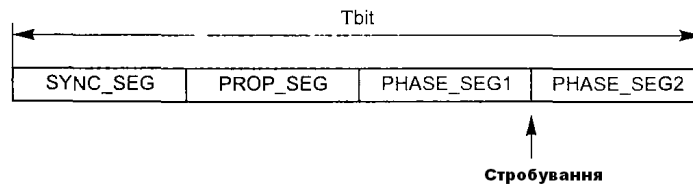


Рис. 7.5. Час передачі біта

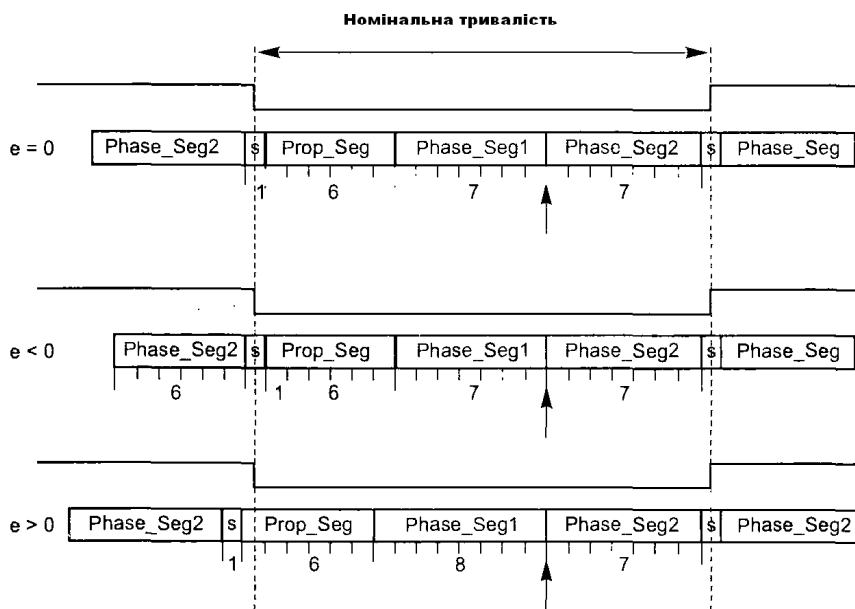


Рисунок 7.6 - Синхронізація передачі біта

Цей перехід завжди повинен відбуватися протягом сегмента SYNC\_SEG. Для компенсації різних збоїв або затримок в лінії використовується скорочення тривалості сегмента PHASE\_SEG2 по відношенню до номінального значення або збільшення тривалості сегмента PHASE\_SEG1. Зміна тривалості сегментів програмується в межах 1...4 кванта, але не більш ніж значення PHASE\_SEG1.

На рисунку 7.6 номінальні значення тривалості сегментів становлять: PROP\_SEG — 6 квантів, PHASE\_SEG1 і PHASE\_SEG2 по 7 квантів. При нульовій фазовій помилці ( $e = 0$ ) фронт сигналу проходить упродовж сегмента SYNC\_SEG без жодної компенсації тривалості.

При негативній фазовій помилці ( $e < 0$ ), у її накопиченні, фронт сигналу може з'явитися після стробування. Щоб запобігти цьому скороченню тривалість сегмента PHASE\_SEG2 попереднього біта із 7 до 6 квантів.

При позитивній фазовій помилці ( $e > 0$ ) фронт сигналу може пройти до моменту

стробіювання при її накопиченні. Щоб запобігти цьому збільшена тривалість сегмента PHASE\_SEG1 із 7 до 8 квантів.

### 7.5. Підрівень MAC (Управління доступом до середовища в CAN)

На підрівні MAC здійснюється упаковка даних в кадри формату CAN з різними управляючими бітами, серіалізація, додавання розділювальних бітів, арбітраж, виявлення помилок, і перевантаження, перевірка підтверджень.

Передача інформацій в мережі CAN здійснюється кадрами чотирьох форматів:

- кадри даних, служать передачі інформації від вузла до вузла;
- кадри запиту, для запиті даних одним вузлом в іншого;
- кадри помилки, передаються вузлом, які виявили якусь помилку;
- кадри перевантаження (переповнення), використовуються передавачем для припинення передачі кадрів до мережі.

Між кадрами вводиться міжкадровий простір і при передачі кадрів використовуються п'ять процедур управління:

- вставка додаткових бітів для синхронізації;
- побітовий арбітраж;
- виявлення помилок;
- контроль циклічності надлишковим кодом;
- сигналізація помилок.

► Кадр даних служить передачі повідомлень по шині і складається з семи основних полів (рисунок 7.7).

1	SOF
11	<b>Ідентифікатор</b>
1	<b>Індикатор запиту</b>
6	<b>Керуюче поле</b>
0...64	<b>Дані</b>
15	CRC
1	CRC розділювач
1	<b>Поле АСК</b>
1	<b>Розділювач АСК</b>
7	<b>Кінець кадра</b>
3	<b>Міжкадровий простір</b>

**Рисунок 7.7 Кадр стандартного формату**

У полі даних можуть знаходитися від 0 до 8 байтів (64 біт).

1	SOF
11	<b>Ідентифікатор</b>
1	<b>Додатковий біт запиту</b>
1	<b>Ознака розширення ідентифікатора</b>
18	<b>Розширення ідентифікатора</b>
1	<b>Індикатор запиту</b>
6	<b>Керуюче поле</b>
0...64	<b>Дані</b>

**Рисунок 7.8 - Початкова частина кадру даних розширеного формату**

За полем даних слідує 15-бітове поле контролю циклічно перебільшеним кодом (CRC), яке використовується для визначення помилок, і роздільник (CRC).

На рисунок 7.8 показана початкова частина кадру даних розширеного формату з 29-бітовим ідентифікатором. Біти індикатора запиту і індикатора розширеного формату знаходяться в стані недомінуючого рівня. Це означає, що кадр стандартного формату має як високий пріоритет стосовно кадру розширеного формату при однаковому змісті перших 11-бітів поля ідентифікатора

1	SOF
11	Ідентифікатор
1, недомінуючий	Ідентифікатор запиту
6	Керуюче поле
0..64	Дані
15	CRC
1	CRC-розділювач
1	АСК
1	Розділювач АСК
7	Кінець кадра
3	Міжкадровий простір

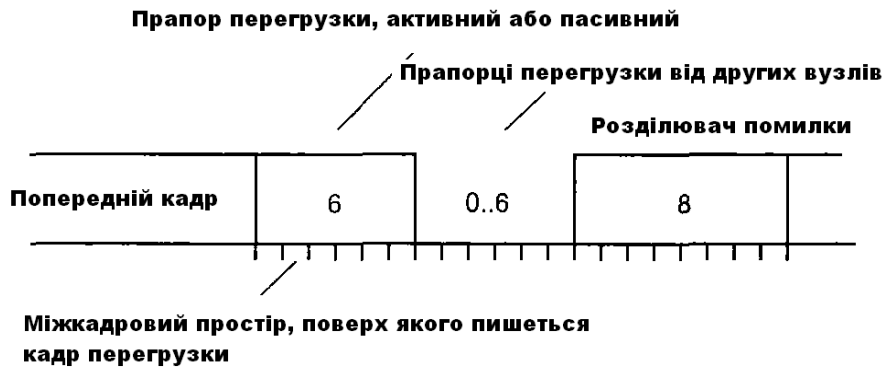
**Рисунок 7.9 - Кадр запиту**

► Кадр запиту відрізняється від кадру даних відсутністю поля даних (рисунок 7.9). Біт поля запиту перебуває у стані недомінуючого рівня. Кадр запиту використовується для запиту даних одним вузлом від іншого. У відповідь вузол-адресат посилає кадр даних із настільки ж ідентифікатором.

► Кадр помилки передається вузлом, які виявили якусь несправність. Кадр помилки надходить у всі вузли і складається з двох полів — поля прапорця помилки і поля роздільника. Прапорець помилки може бути активним або пасивним. Активний прапорець складається з шести послідовних бітів в стані домінуючого рівня (рисунок 7.10), пасивний — з 6 бітів недомінуючого рівня. Роздільник помилок складається з восьми бітів недомінуючого рівня.



**Рисунок 7.10 Кадр помилки**



**Рисунок 7.11 - Кадр перевантаження**

► Кадр перевантаження (переповнення) посилається на шину підрівнями MAC або LLC (див. рисунок 7.1) при виявленні перевантаження або деяких помилок. При отриманні кадру перевантаження вузол затримує передачу чергового кадру даних на шину, даючи приймачу час виконати її завдання.

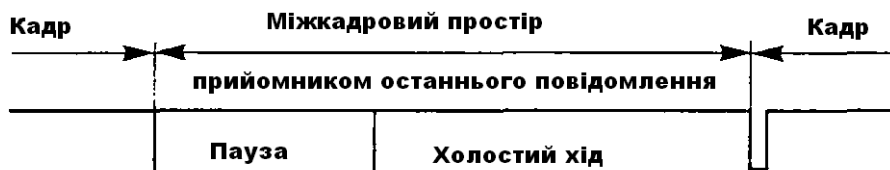
Кадр перевантаження (рисунок 7.11) містить два поля — прапорець перевантаження і роздільник. За структурою кадр перевантаження збігається з кадром помилки, але відрізняється часом передачі. Кадр помилки передається відразу після її виявлення одним з вузлів, а кадр перевантаження передається по закінченні поточного кадру, ігноруючи міжкадровий простір.

Поява кадру помилки у сучасних мережах CAN — подія малоймовірної. Ця опція збережена для сумісності з більш повільними CAN — контролерами колишніх розробок, наприклад, з піонером — Intel 80526.

Сучасніші контролери це Intel: 82527; Philips: SJA1000; Siemens: 81C90; Siemens: 81C91.

► На підрівні MAC між закінченням попереднього та початком наступного кадру обов'язково проходить деякий час, що називається міжкадровим простором. Перед кадрами помилок, і перевантаження міжкадрового

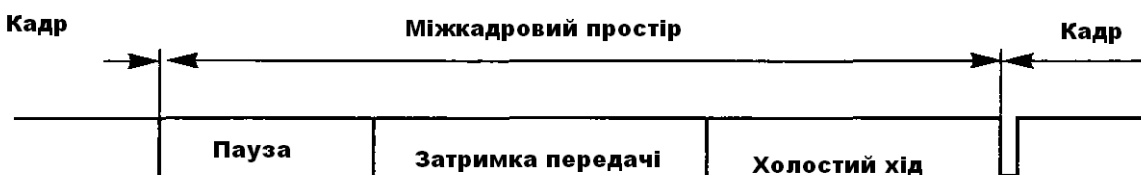
**Вузол в активному режимі або був прийомником останнього повідомлення**



**Вузол в пасивному режимі або був**

**Міжкадровий простір**

**Вузол в пасивному режимі або був відправлювачем останнього повідомлення**



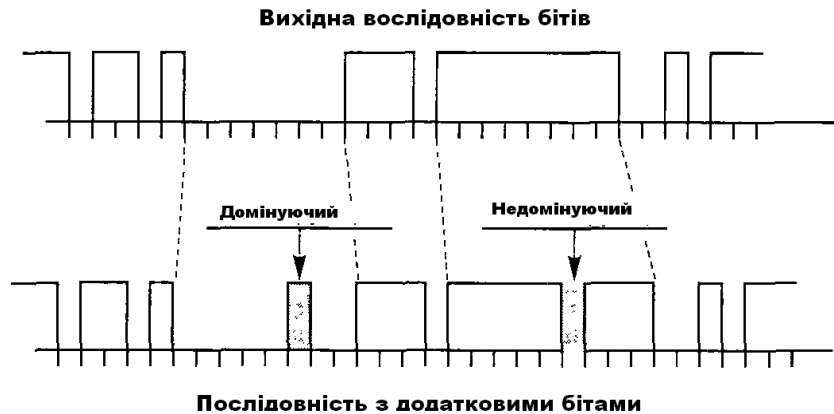
**Рисунок 7.12 – Вузли в активному режимі**

Простір між кадрами може містити поля: «міжкадровий простір», «холостий хід шини», «затримка передачі». Для вузлів в активному режимі (рисунок 7.12)



міжкадровий простір містить паузу і холостий хід.

► У протоколі CAN використовується NRZ-код (non-return-to-zero). При цьому ефективно використовується частотна смуга лінії зв'язку, але якщо в послідовності багато бітів одного значення, то можливі порушення синхронізації. Щоб запобігти цьому, у послідовність, що складається з 5 і більше однакових бітів, вставляються додаткові синхронізуючі біти (рисунок 7.13). У приймачу ці допоміжні біти автоматично видаляються.



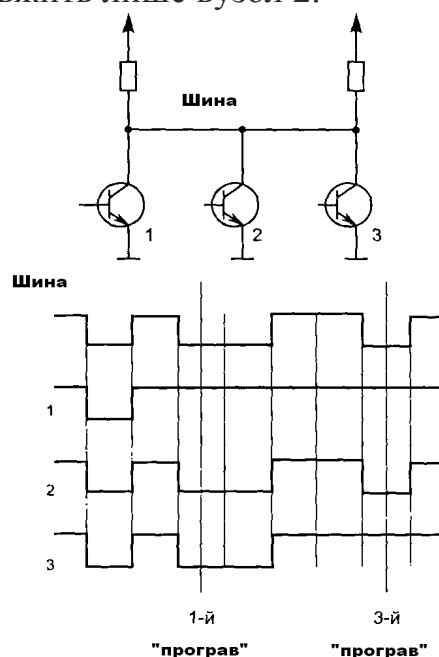
**Рисунок 7.13 - Запровадження додаткових бітів для синхронізації**

Кадр завжди передається починаючи з стартового біта (SOF). У межах поля першими йдуть біти, які мають найважливішу інформацію.

► Побітовий арбітраж є особливістю протоколу CAN.

Мультиплексна система, підпорядковується CAN-протоколу, і є рівноранговою. Будь-який вузол має право на доступ до шини, коли він вільний. Ознакою цього є виявлення вузлом між кадрового простору.

На рисунку 7.14 показані три вузла, які намагаються одночасно одержати доступ до мережі CAN. Для першого вузла ідентифікатор 011111..., для другого — 0100110..., для третього — 0100111... Вузли 2 і 3 продовжують передачу до сьомого біта. В цей момент часу рухаючись вузлом 3 біт «1» не збігаються з станом шини «0» і вузол 3 відключиться, передачу продовжить лише вузол 2.



**Рисунок 7.14 - Побітовий арбітраж**

Нерозв'язні конфлікти можуть виникати на шині, якщо в кадрах запиту збігаються ідентифікатори, але зазначено різну кількість бітів в необхідних даних. Для запобігання конфліктів у межах системи ці числа повинні бути однаковими.

► Протокол CAN на відміну інших не використовує квітування повідомлень. Натомість CAN сигналізує про виявлення помилок. У протоколі є п'ять способів виявлення помилок:

- *контроль циклічно-надлишковим кодом (CRC)*. Передавач додає в кадр додаткові біти на полі CRC, використовуючи утворювач поліном і вміст кадру. На приймаючому боці визначається код CRC і порівнюється зі переданим. Відсутність збігів визначається як помилка CRC;

- *перевірка кадру*. Перевіряються формати полів кадру. Виявлені помилки називаються помилками кадру;

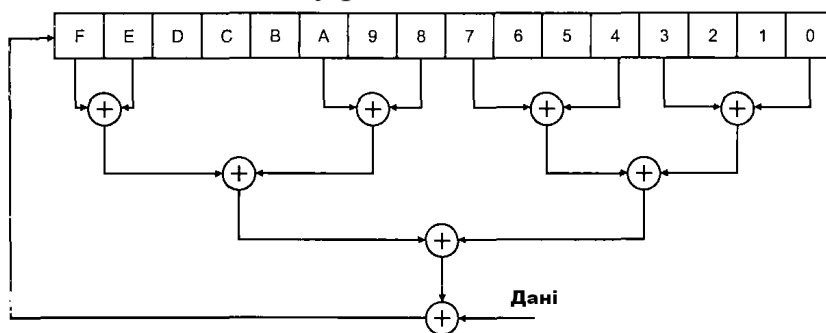
- *визначення помилки АСК*. Приймач, який одержав інформацію, встановлює біт АСК в домінуючий стан. Передавач, який не одержав підтвердження у такій формі, повідомляється про помилку у кадрі або відсутності приймачів.

**У протоколі CAN є дві процедури виявлення помилок на бітовому рівні:**

- *моніторинг шини*. Вузол може контролювати власним повідомленням під час передачі і може знайти невідповідність між тим, що він передає, і тим, що передає до приймача. Винятком є посилка недомінуючих бітів при арбітражі чи біта АСК. Це дозволяє відрізнити глобальні помилки від локальних помилок передавача;

- *визначення помилки при введенні додаткових бітів синхронізації*. Помилка визначається і при отриманні приймачем шести однакових послідовних бітів.

Перші із трьох перелічених способів реалізуються лише на рівні повідомлення (кадру), два останніх — на бітовому рівні.



**Рисунок 7.15 - Схема включення регістру**

► У протоколі CAN застосовується контроль циклічно надлишковим кодом (CRC), для чого використовується поліном  $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$ , генеруючи двійкову псевдовипадкову послідовність максимальної довжини. Апаратно чи програмно організується зсуваючий 16-розрядний реєстр зі зворотними зв'язками через схеми «які виключають АБО» (сума по модулю два) відповідно до коефіцієнтів утворюваного полінома (рисунок 7.15). Реєстри на стороні приймача і передавача від початку встановлюються в однаковий стан. Через реєстр проходять біти повідомлення починаючи з старших. Після цього вміст реєстру стає циклічно надлишковим кодом (CRC). За відсутності помилок коди приймача і передавача збігаються. При помилці біт АСК залишається недомінуючим.

► Протокол CAN передбачає сигналізацію помилок. Якщо вузол виявляє помилку, використовуючи одне із наведених вище способів, поточна передача повідомлень припиняється, на шину видається прапорець помилки. Інші вузли не приймають

перерване повідомлення.

При виявленні помилки CRC, кадр помилки починає передаватися після роздільника CRC. Для інших видів помилок кадр помилки починає передаватися з наступного біта після виявленої помилки.

Після переривання помилкового повідомлення передавач намагається його повторити, щойно шина звільниться.

## 7.6 Підрівень LLC

### 7.6.1 Можливості підрівня

Підрівень LLC відповідає верхній частині каналного рівня моделі VOS. Тут вирішуються питання незалежно від способів доступу до середовища, такі як: рішення про ухвалення повідомлення вузлом, визначення стану перевантаження, повторення передачі і т.д.

► Підрівень LLC забезпечує користувача інтерфейсом CAN можливістю виконувати такі завдання:

- передавати дані без квітування;
- передавати кадр запиту без квітування.

Взаємодія між підрівнем LLC і користувачем здійснюється з застосуванням двох типів кадрів: кадру даних LLC і кадру запиту LLC (рисунок 7.16).

Поле ідентифікатора містить 11 біт. Сім найвагоміших бітів неможуть бути одночасно у стані «1».



**Рисунок 7.16 – Кадри даних і запиту**

В поле DLC (data length code) входить 4 біта. Тут вказується розмірність поля даних в байтах. Допустимими значеннями можуть бути 0-8, комбінації цифр 9 і 5 заборонені.

У полі даних може бути до 8 байт, відповідно до значень DLC.

Кадр запиту ідентичний кадру даних, але не містить поля даних. Поле DLC повинна утримувати число байтів даних відповідно до ідентифікатора.

► Рішення про ухвалення повідомлення вузлом реалізується наступним способом. За необхідності послати повідомлення вузол передає дані і ідентифікатор своєму шинному драйверу CAN. Тут повідомлення форматується в кадри і передається на шину драйвером, коли шина вільна чи відповідно з пріоритетом інформації. Всі інші вузли шини стають приймачами цих повідомлень. Кожен вузол визначає — йому призначена ця інформацію чи ні. Якщо «так», інформація приймається, якщо «ні» — ігнорується. Процедуру такої фільтрації може виконати і ЕБУ, але для розвантаження ЕБУ у сучасних протоколах CAN для мультиплексних систем визначення призначення повідомлення покладено адаптери CAN.

► Оповідження про перевантаження передається в шину CAN, коли внутрішні умови приймача вимагають затримки перед прийняттям наступного кадру. Кадр

перевантаження ініціюється підривом LLC.

### 7.6.2 Обмеження поширення помилок

Найважливішими завданнями при обмеженні поширення помилок є:

- розрізнення тимчасових і постійних відмов;
- відключення несправних вузлів від шини.

Для цього використовуються лічильники відмов вузла, один для режиму передачі, інший прийому. При виявленні помилки вміст відповідного лічильника збільшується на число в діапазоні 1...8 залежно від типу помилки. Після успішної передачі чи прийому значення у відповідному лічильнику зменшується на одиницю.

Вміст лічильників відповідає відносній частоті появи відмов в передісторії. Вважається, що вузол вийшов з ладу, якщо загалом одне з восьми повідомлень передається (приймається) з помилкою.

Функціонування вузлів модифікується залежно від вмісту лічильників. Вузли можуть міститися у одному із трьох станів:

- *стан активного відпрацювання помилок (error active)*. Це нормальний режим роботи вузла. При виявленні відхилень вузол видає на шипу кадр активної помилки;
- *стан пасивного відпрацювання помилок (error passive)*. Вузол переключється до цього стану, коли вміст одного з лічильників перевищить 127. При виявленні відхилень вузол посилає по шині кадр пасивної помилки;
- *відключення від шини (bus off)*. У цей режим вузол потрапляє, якщо вміст лічильника перевищив 255. Після відключення вузол на роботу шини не впливає. Вузлу може бути дозволено повернутися до активного стану після ініціалізації від протоколу вищого рівня (Normal\_Mode\_Request) і проході по шині 128 послідовностей з 11 недомінантних бітів.

► У мультиплексних системах з дуже високою швидкістю обміну даними топологія шини мусить бути максимально наближено до лінійної для зменшення відображень в кабелі. Відгалуження від шини до вузлів повинні бути максимально короткими.

Для зменшення стоячих хвиль точки підключення вузлів до шини не повинні розташовуватися на рівній відстані один від одного, відводи повинні мати різну довжину. Наприклад, відповідно до стандарту SAE J1939/11, для швидкості обміну 250 Кбіт/сек максимальна довжина відводу може бути 1 метр, мінімальна відстань між точками підключення вузлів до шини — 0,1 метра.

► Під час експлуатації можуть з'явитися різні несправності шини. Деякі їх показані на рисунку 7.17. Тут наведено опис цих несправностей та їх наслідків.

1. Обрив лінії CAN\_H. Мережа розбивається на дві, які не пов'язані одна з одною підмережі. Обмін даними між вузлами різних підмереж неможливий. У межах одної підмережі обмін зберігається, але з гіршим співвідношенням сигнал/шум.

2. Обрив лінії CAN\_L. Аналогічно випадку 1

3. Замикання лінії CAN\_H на напругу джерела живлення (акумулятор). Обмін даними зазвичай неможливий.

4. Замикання лінії CAN\_L на масу. Обмін даними зберігається, оскільки напруга у лінії залишається у припустимих межах, але з гіршим співвідношенням сигнал/шум і великим паразитним випромінюванням.

5. Замикання лінії на масу. Обмін даними рисунок неможливий

6. Замикання лінії CAN\_L на напругу джерела живлення (акумулятор). Обмін

даними зазвичай неможливий.

7. Замикання ліній CAN\_H і CAN\_L між собою. Обмін даними неможливий.

8. Розрив обох ліній в одному місці. Аналогічно випадку 1.

9. Відключення кінцевого резистора. Обмін даними може бути, але з гіршим співвідношенням сигнал/шум за рахунок збільшення стоячих хвиль.

10. Обрив з'єднувача від вузла до лінії CAN\_H. Цей вузол неспроможний брати участь у роботі мережі.

11. Обрив з'єднувача від вузла до CAN\_L лінії. Цей вузол неспроможний брати участь у роботі мережі.

З сказаного ясно, що після появи одної з несправностей процес обміну даними по шині стає неможливим, після появи інших — обміну може бути, але з гіршим співвідношенням сигнал/шум.

Загальні вимоги такі:

- електричне полі з напругою 200 В/м в безпосередній близькості від автомобіля на повинен викликати збоїв у роботі автомобільних автотронних систем;

- напруга на передавальній автомобільній антені має бути менш 1 мкВ в діапазоні частот 20... 1000 МГц.

Основною проблемою під час використання мультиплексних систем з великою швидкістю обміну даними є випромінювання електромагнітних перешкод завдяки чому, шинні драйвери вузлів працюють у ключовому режимі на високій частоті. Для зменшення паразитного випромінювання використовують екранування кабелю, кручені пари, включають послідовно дроселі у відводи до вузлів. Має значення і маршрут прокладки кабелю шини, вона мусить проходити подалі від устаткування, чутливого до електромагнітних перешкод, ближче до заземлених об'єктів.

Іноді в мультиплексних системах зменшують швидкість наростання фронтів сигналів. Це спричиняє деяке зменшення паразитного електромагнітного випромінювання. З іншого боку, зменшення крутизни фронтів викликає втрату швидкості передачі, рівень сигналу на шині більш тривало перебуватиме у невизначеному стані між 0 і 1, що може дати, навпаки, підвищення рівня випромінюваних шумів. Для швидкісних мультиплексних систем зменшення крутизни фронтів навряд чи доцільно.

► До надійності мультиплексних систем в автомобілі пред'являються високі вимоги, автомобіль є джерелом підвищеної небезпеки, і повинен працювати надійно протягом усього терміну експлуатації.

Сучасні мультиплексні системи таким вимогам відповідають. Наприклад, шина CAN, працююча зі швидкістю передачі 1 Мбіт/сек при середньому завантаженні шини 50%, середньої довжині повідомлення 80 біт, повним термін експлуатації 4000 годин пропустить  $9 \times 10^{10}$  повідомлень. Статистична оцінка для числа невпізнаних неправильних повідомлень під час експлуатації складе менше  $10^{-2}$

## Тема 8 Система управління курсовою стійкістю автомобіля

### 8.1 Попередні відомості

### 8.2 Концепція та варіаційні параметри системи УРС

### 8.3 Функціональна блок-схема системи VDC

### 8.4 Технічна реалізація системи VDC

#### 8.4.1 Основні компоненти

#### 8.4.2 Датчики системи VDC

#### 8.4.3 Гідросистема

#### 8.4.4 Електронний блок управління

### 8.5 Результати експериментальних досліджень

#### 8.5.1 Випробування автомобіля з системою VDC при різкій зміні напрямку руху

#### 8.5.2 Гальмування при русі автомобіля по гладкому льоду

#### 8.5.3 Випробування автомобіля при русі по замкнутій траєкторії зі збільшенням швидкості

### 8.6 Надійність системи VDC. Пошук несправностей

### 8.1 Попередні відомості

Управління рухом автомобіля на кривій дорозі з ухилами і підйомами, наприклад на гірському серпантині, є не лише важкою і небезпечною роботою для середньостатистичного водія. Завдання управління ще більше ускладнюється за зміни погодних умов, при дощі, снігопаді і особливо на заледенілому шосе. Рух гірськими дорогамм в таких випадках забороняється. Але й на висококласних рівнинних автомагістралях бувають досить круті повороти і ожеледь, що з практично необмеженою швидкістю руху часто призводить до дорожньо-транспортним подій (ДТП). Причиною усіх таких аварій є практично неконтрольоване падіння зчеплення колісних шип автомобіля з дорожнім покриттям, яке (зчеплення) ще більше слабшає у разі подовжнього чи бічного ковзання. При русі юзом автомобіль погано піддається управлінню і вивести його з такоого стану при великій швидкості може не кожен водій. Вина за ДТП що сталося, завжди покладається па водія. Так, по статистичних даних американської дорожньої поліції, які мало розходяться з даними ДАІ, близько 95% всіх ДТП, що мають місце на рівнинних швидкісних дорогах в дощ, завірюхи, ожеледиці, відбуваються з вини водіїв, внаслідок вчинених ними помилок в управлінні. Ряд американських, німецьких і японських дослідників незгідні з таким трактуванням причин ДТП. Так, Kiipler [26] і Brown [27] провели більш уважну обробку поліцейської інформації про ДТП і зазначили, що у 19% всіх випадків винні недосвідченість, неуважність чи безтурботність водія; 31% ДТП посідає «тупість» (недосконалість) автомобіля, коли навіть майстерний водій неспроможний справитися з автомобілем й не допустити аварію; решта 50% ДТП мали місце через різкої, несподіваної для водія зміни дорожньої ситуації (наприклад, масляна пляма чи лід на дорожньому покритті), коли водій просто не встигав зреагувати. За даними Rompe та інших. [28], які досліджували дії водіїв при різкій зміні дорожньої ситуації ще до скоєння ними аварії, лише у 50% випадків водії намагалися запобігти ДТП. Edwards та інші [29] уточнюють, що дії водіїв по запобіганню сутичок мають місце у 52%, а, по запобіганню з'їзду з автомагістралі за огороження чи з запобіганню перекидання автомобіля в 64-х% випадків. Отже ясно, що майже завжди у половині ДТП що

відбулись, винні не безтурботність чи неуважність водія, а природна інерційність сприйняття, яка веде до запізнення реакції за необхідності виконання миттєвої дії у сучасних умовах руху.

Дослідженнями Fuchs показано, що електронна автоматика нових розроблюваних моделей автомобілів, які обов'язково оснащуються системою курсової стійкості, має відповідати наступним вимогам:

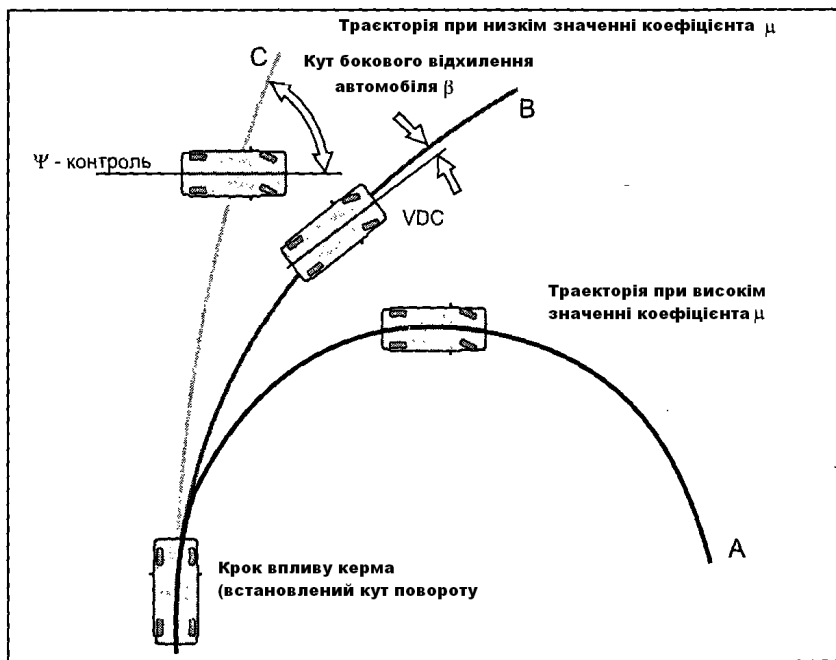
- у разі порушення штатних (звичайних) умов руху, коли зчеплення колісних шин автомобілі з дорогою наближається до своєї фізичної межі, автомобіль не повинен поводитися непередбачено, динаміка його руху має змінюватися не різко, не повинні з'явитися заноси, різкі розвороти, з'їзди з дороги чи перекидання;
- навіть у слизьких чи зледенілих дорогах відхилення від заданого водієм напрямку руху повинно залишатися мінімальним;
- ступінь завантаженості автомобіля не більше продиктованої норми не має впливати на стійкість його руху;
- бічний вітер, неприбраний від незначних піщаних чи сніжних наносів стан автомагістралі не повинні сильно впливати на рух автомобіля;
- параметри і характеристики автомобіля, відповідальні безпеці руху, повинні залишатися у оптимальних нормах для суб'єктивного сприйняття водієм.

Гіроскоп — це свого роду вестибулярний апарат системи VDC, реагує на найменші флуктуації напрямку руху. Проте слід зазначити, що система VDC не являється системою безпілотного управління, а лише доповнює дії водія, залишаючи його відповідальність за вибір напрямку руху, не втручаючись у його управляючі маніпуляції до того часу, поки рух автомобіля протікає штатно (без юза коліс і заносу автомобіля) [34]. З 1995 року система VDC вийшла із стадії експериментальних досліджень, і стала встановлюватися на ексклюзивних легкових автомобілях.

## **8.2 Концепція і варіаційні параметри системи VDC**

У штатних умовах руху траєкторія переміщення автомобіля по дорожньому полотну задається управляючими маніпуляціями водія. Ці маніпуляції, з допомогою відповідних датчиків, перетворюються на електричні сигнали кута повороту рульового колеса, крутного моменту двигуна (по розі повороту осі дросельної заслінки) і тиску рідини у гальмівній системі. Проте цих сигналів для автоматичної стабілізації стійкості руху на критичних ситуаціях недостатньо, і додатково потрібна інформація про величини, такі як кут бічного відведення передніх коліс ( $\alpha$ ), кут бічного знесення автомобіля ( $\beta$ ), бічне ковзання ( $S$ ) коліс щодо дорожнього покриття і його напрямку (кут  $\gamma$ ), коефіцієнт (ню) зчеплення коліс з дорогою. Всі ці величини є вхідними варіаційними параметрами системи VDC і впливають на траєкторію руху автомобіля, щойно під колесами з'являється юз. На рисунку 8.1 показано, яку траєкторію буде описувати автомобіль, який входить зі швидкістю 80 км/год в крутий поворот за одного й того самого незмінного становища керма, постійному газі без гальмування, але при різноманітному вигляді дорожнього покриття. Крива «А» відповідає траєкторії повороту автомобіля з радіусом 40 м на сухому асфальті, коли бічне ковзання коліс щодо дорожнього покриття немає місця ( $\text{ню} > 0,95$ ). Фактичний собі напрямку руху відповідає напрямку, обраному водієм у вигляді відповідного повороту рульового колеса. Крива «В» відображає траєкторію руху автомобіля при повороті на мокрій

дорозі відразу після дощу, коли асфальтне покриття особливо слизьке ( $\mu < 0,65$ ).



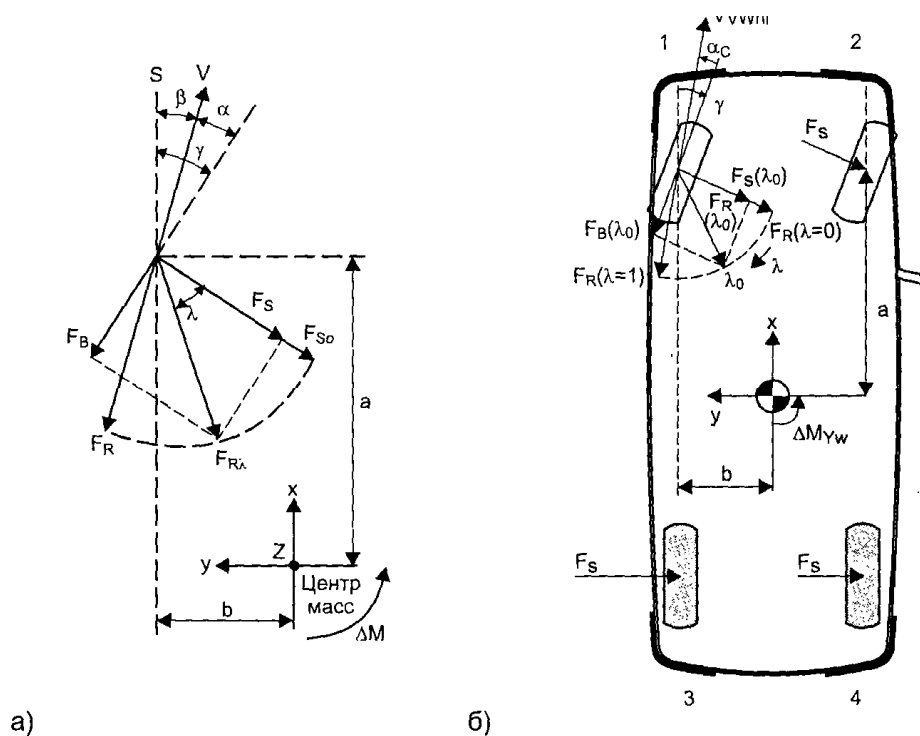
**Рисунок 8.1 - Залежність траєкторії руху автомобіля від стану дорожнього покриття**

Бічне ковзання, яке зявилося, передніх коліс призводить до бічного зносу автомобіля від заданого кермом напрямку руху, і радіус повороту залежить не тільки від становища керма, а й від сили бічного відведення. На зимовій дорозі при голольоді ( $\mu < 0,15$ ) бічний знос автомобіля на повороті може бути настільки великим, що загубиться контроль над управлінням і автомобіль незалежно від дій водія піде на переміщення по автодорозі бічним юзом (крива «С» на рисунку 8.1) чи, більше того, може розпочати обертатися навколо вертикальної осі. З розгляду траєкторій, показаних на рисунку 8.1, очевидно, що при повороті автомобіля на слизькій дорозі кут бічного відведення (знесення) автомобіля повинен бути обмежений значенням, у якому коефіцієнт зчеплення "ню" коліс з ко дорогою не повинен ставати менше критичного для даних станів еластичності протектора колісних шин й дорожнього покриття. Однією з способів підвищення коефіцієнта зчеплення "ню" є використання у зимовий період жорсткішої шипованої колісної гуми. На рисунку 8.2, а приведена векторна діаграма сил, прикладених до переднього колеса під час руху автомобіля на повороті, що відображає фізичну картину втрати стійкості у разі юза під колесами. На рис. 8.2, б показані точки докладання векторних зусиль і моменту розвороту навколо вертикальної осі, і навіть лінійні координати a, b, c, d цих точок щодо центру мас у системі координат x, y, z.

Кут  $\alpha$  бічного відведення колеса виникає під впливом бічної сили  $F_s$ , коли еластична шина деформується в бічному напрямі, у результаті вектор швидкості  $V$  автомобіля відклоняється від площини обертання колеса [22]. Збільшення бічної сили  $F_s$  є причиною збільшення кута  $\alpha$ . Відношення  $F_s/\alpha$  називається коефіцієнтом опору відведення.  $K = F_s/\alpha$  (Н/град). Якщо кут  $\alpha$  сягає значень  $12...20^\circ$ , то бічна сила  $F_s$  на сухому асфальті стає рівною силі  $F_r$ , зчеплення шини колеса з дорогою ( $F_s = F_r$ ) і відведення колеса перетворюється на його бічне ковзання (юз). При впливі на колесо поздовжньої тягової сили  $F_l$  чи гальмівної сили  $F_g$ , коефіцієнт опору відведення ( $K$ )



знижується. Якщо колесо нахилиється за вертикаллю, убік дії бічної сили, то кут відведення колеса збільшується, при напрямку сили  $F_s$  кут  $\alpha$  зменшується. Якщо при повороті передні колеса обертаються вільно (без бічного юза і гальмування), то  $F = 0$  й  $\lambda = 0$ , а результуюча сила  $F_R = F_{s0}$ . Коли під передніми колесами з'являється юз, кут  $\lambda$ , який визначає напрям ковзання, зростає й, залежно від зміни коефіцієнта ковзання  $S$  в межах  $0 < S < 1$ , змінює свою величину від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . За рахунок юза починає збільшуватися сила  $F_{g\lambda}$  гальмування колеса (без спрацьовування гальмівної системи), а бічна сила  $F_{s\lambda}$  відповідно до векторної діаграми (рисунок 8.2, а) зменшується. Зміна напрямку ковзання при бічному юзі призводить до обертання результуючої сили  $F_R$  навколо вертикальної осі повороту колеса, що викликає перерозподіл сил  $F_L$ ,  $F_{s\lambda}$ ,  $F_s$  й створення моменту  $M$  обертання кузова автомобіля щодо центру мас під впливом ковзання даного колеса. Зрозуміло, що при бічному ковзанні  $S$ , близький до одиниці ( $S \approx 1$ ), бічне відведення автомобіля перевищує критичне значення і автомобіль стає некерованим. Сумарний момент  $M_E$  обертання кузова навколо вертикальної осі дорівнює сумі моментів від кожної колеса окремо:  $M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$ .



**Рисунок 8.2 - СИЛИ, які діють на колеса автомобіля під час повороту**

$V$  — вектор швидкості руху автомобіля;

$S$  — поздовжня вісь автомобіля;

$\gamma$  — кут повороту колеса щодо осі  $S$ ;

$\alpha$  — кут бічного відведення колеса від фактичного напрямку руху (від вектора  $V$ );

$\rho = (\gamma - \alpha)$  — кут бічного відведення автомобіля ("кут шастання»);

$F_s$  — бічна сила діюча на вісь колеса;

$F_g$  — гальмівна сила колеса за його ковзання дорогою;

$F_R$  — результуюча сила бічного відведення колеса, рівна векторній сумі гальмівній ( $F_B$ ) і бічній ( $F_s$ ) сил. ( $F_R = F_s + F_B$ );

$\lambda$  — кут між віссю колеса і напрямом його ковзання

Управляючи тяговими силами  $F_D$  головних коліс ( $F_{D3} + F_{D4}$ ) і гальмовими силами  $F_g$ , всіх чотирьох коліс ( $F_{B1}, F_{B2}, F_{B3}, F_{B4}$ ), можливо домогтися такої міри руху

автомобіля на поворотах чи слизькій дорозі, у якому  $ME \ll MK$ .  $K_m$  — критичне значення сумарного моменту  $ME$ , у якому кути бічного відведення центрів переднього і заднього мостів з'являються не під впливом бічного юза, а в результаті еластичного прогину шин всіх чотирьох коліс. У разі колеса не зриваються в юз і автомобіль залишається керованим. (Відповідно до ОСТ 37.001.05186, керованість автомобіля — це його здатність точно слідувати повороту передніх коліс [22].) Функції автоматичного управління підторможування і тягової сили коліс при повороті автомобіля на великій швидкості або при русі по слизькій дорозі виконує система управління курсовою сталістю (система VDC).

### 8.3 Функціональна блок-схема системи VDC

Раніше на рисунку 1.1 була показана система VDC як частина системи "дорога - водій-автомобіль". Функціональна блок-схема системи VDC, як відповідає рішення фундаментальної задачі управління курсовою стійкістю автомобіля показана на рисунку 8.3.

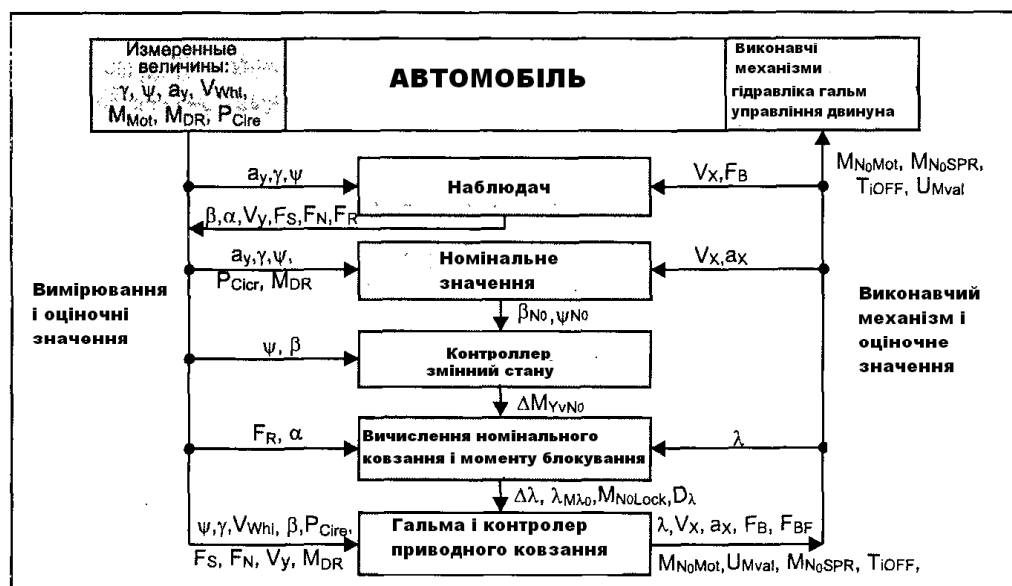
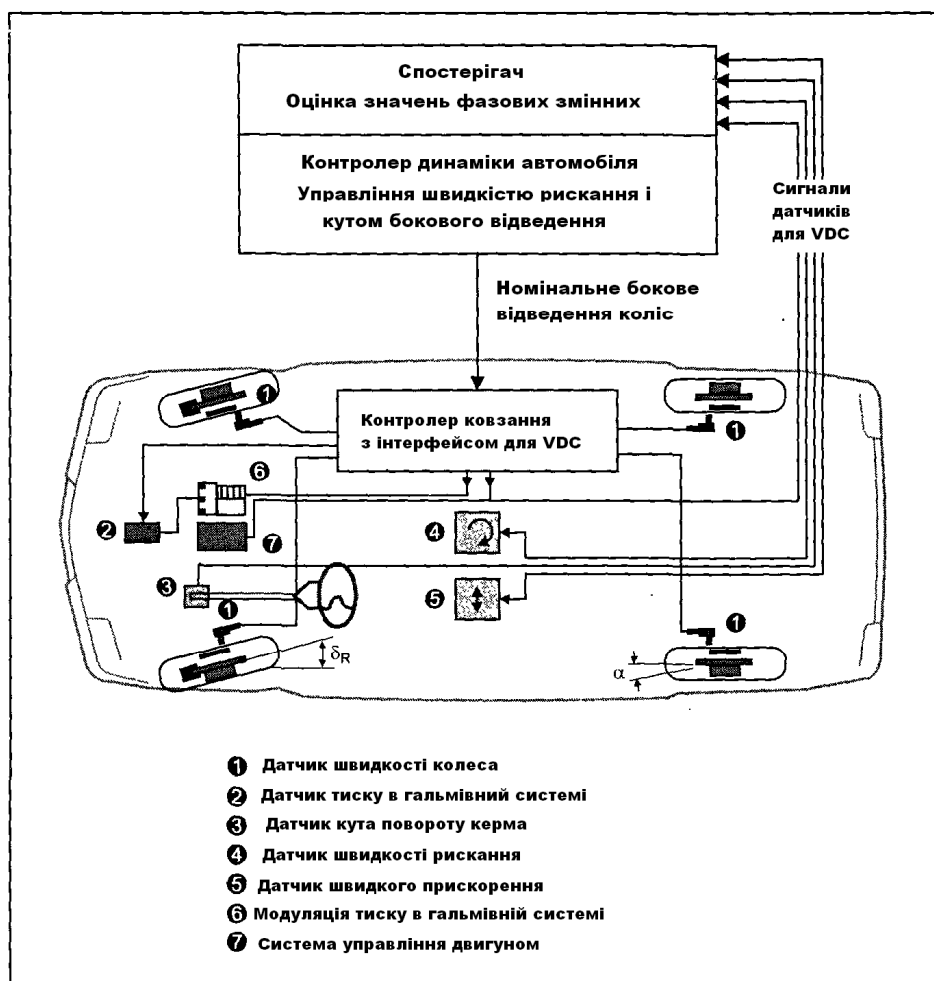


Рисунок 8.3 - Функціональна блок-схема системи VDC

Така схема описує функціональний взаємозв'язок параметрів системи VDC і порядок їх опрацювання. По-перше, по вхідним параметрами (впливам водія на керівні органи), які з допомогою датчика кута повороту рульового колеса, датчика дросельної заслінки і датчика тиску у гальмівній системі перетворюються на електричні сигнали, визначається номінальна (штатна) поведінка автомобіля, описана номінальними значеннями регульованих змінних. Це найважливіше і найскладніше завдання для контролера системи VDC, оскільки поведінка автомобіля залежить не тільки від впливів водія, а й від невідомих впливів довкілля, наприклад, від тертя між колесами та дорогою, від температури повітря тощо. З іншого боку, значення регульованих змінних мали бути обрані такими, щоб поведінка автомобіля в критичних ситуаціях була подібна руху в нормальних умовах. По-друге, за отриманими значенням від датчиків швидкості коліс, датчика шаштання і датчика бічних прискорень визначається фактична поведінка автомобіля, яка відповідає фактичним значенням регульованих змінних. Далі обчислюється і використовується різниця між номінальними і фактичними значеннями змінних величин як набір управляючих сигналів в контролері системи VDC. Задля реалізації завдання управління бічним відведенням кожного колеса окремо, під час

основної функції системи VDC, необхідно, щоб гальмівний тиск в кожному колесі міг модулюватися незалежно від водія і як цього вимагає закладена в пам'ять ЕБУ—VDC програма управління. Звідси очевидна істотна різниця між системами ABC і VDC. Для системи ABC колесо являється об'єктом управління швидкістю його обертання, щоб уникнути блокування і зберегти ковзання колеса малим (не більше допустимої норми). При цьому запобігається можливість появи і деякого впливу поперечної сили. Для системи VDC автомобіль являється об'єктом управління із єдиною метою стабілізації руху на критичних ситуаціях, коли пробуксовкою коліс можна й потрібно управляти, щоб отримати необхідні поперечні і подовжні сили на рухомий автомобіль.

У критичній ситуації, коли автомобіль починає зриватися в рух бічним юзом, ширина смуги ковзання між передніми і задніми колесами більше ширини автомобіля. Це дозволяє вибрати каскадну структуру системи управління, у якій внутрішній контур управління із зворотнім зв'язком управляє пробуксовкою коліс, а зовнішній — рухом автомобіля. Така структура системи управління показано на рисунку 8.4



**Рисунок 8.4 - Каскадна структура системи VDC з двома контурами зворотнього зв'язку**

У зовнішньому контурі управління із зворотнім зв'язком відбувається корекція номінальних значень ковзання коліс під необхідні для позаштатних умов руху. У цьому контролер ковзання отримує сигнали управління від контролера динаміки автомобіля як різних величин між номінальними і фактичними параметрами руху, і навіть від датчиків автомобіля. У внутрішньому контурі формуються сигнали самонаведення виконавчих механізмів, з допомогою яких коригується бічне відведення коліс до номінальних значень ковзання. Наглядач використовується для того, щоб оцінити

фактичне значення кута бічного відведення автомобіля та інших не вимірюваних величин, наприклад, сил дії на колеса, спрямованих по нормалі. Як і системі АВС, алгоритм управління запрограмований і зберігається в ПЗП—VDC. Коли система VDC активована, контролер ковзання реалізує вибірку даних із пам'яті, порівнює його з поточними значеннями, виробляє коригувальні сигнали і передає їх у виконавчі пристрої. Система керування двигуном реалізована як внутрішній контур управління із зворотнім зв'язком. Номінальні значення сигналів, що передаються до системи управління двигуном по шині CAN-інтерфейсу, визначають межі регулювання крутного моменту.

## 8.4 Технічна реалізація системи VDC

### 8.4.1 Основні компоненти

На рисунку 8.5 показано основні компоненти системи VDC. Датчик швидкості шастання, акселерометр бічного прискорення, датчик кута повороту рульового колеса і електронний блок управління встановлюються в салоні або у багажнику автомобіля. Під час розробки системи VDC було використано складові компоненти раніше освоєних систем АВС і АSR, такі як гідро прилади, нагнітальні насоси, датчики швидкості коліс, акселерометр бічних прискорень, блок автоматичного управління дросельною заслінкою, електронний блок управління. Тому дослідно-конструкторські розробки системи VDC були зведені до мінімуму а її вартість виявилася прийнятною для установки на ексклюзивні автомобілі.

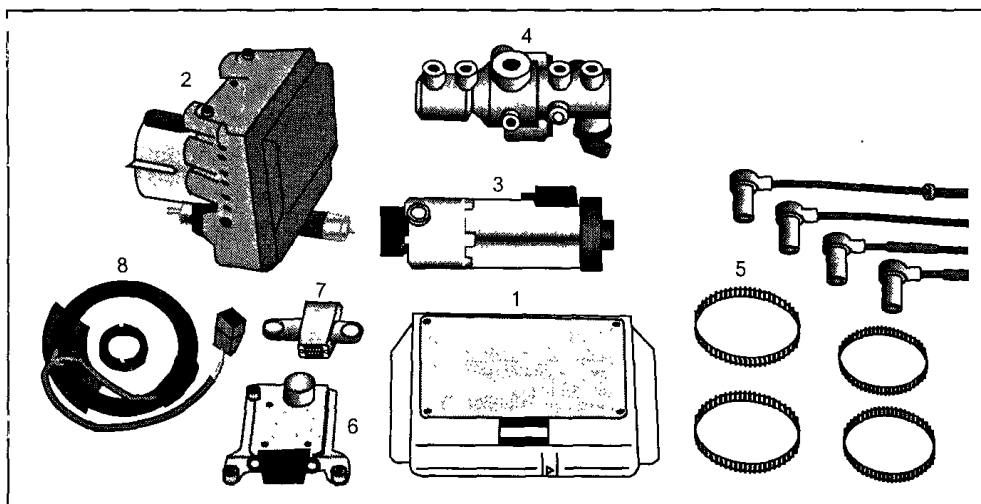
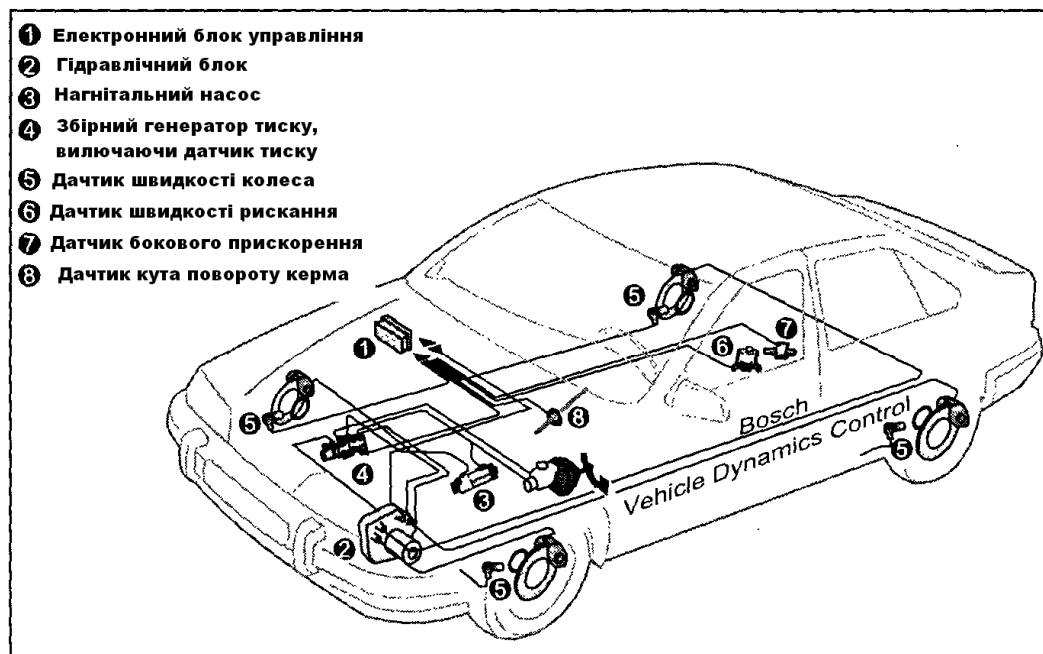


Рисунок 8.5 - Основні компоненти системи VDC

- 1 — електронний блок управління;
- 2 — гідравлічний блок;
- 3 — гідронагнітач насос з електроприводом;
- 4 — диференційний гідропідсилювач з датчиком тиску;
- 5 — колісні датчики;
- 6 — гіроскопічний датчик швидкості шастання;
- 7 — акселерометр бічного прискорення;
- 8 — датчик кута повороту керма

На рис. 8.6. показано розташування компонентів системи VDC на автомобілі Mercedes.



**Рисунок 8.6 - Розташування компонентів системи VDC на автомобілі Mercedes**

#### **8.4.2 Датчики системи VDC**

Технічні вимоги до датчиків системи VDC отримано з аналізу результатів численних випробувань автомобіля і проведених теоретичних досліджень. Використовуючи отримані результати, було визначено додаткові вимоги до безпечної експлуатації бортової електронної автоматики управління, що тепер мала містити елементи резервування основних функцій системи VDC і володіти відповідною аналітичною надмірністю. Це спричинило модернізації вже наявних на автомобілі датчиків і доробки бортової підсистеми інтерфейсу. До датчиків швидкості коліс ніяких спеціальних вимог не пред'являлося. У системі VDC вони такі ж, як й у системі ABS, — індуктивного типу. Знову розробили датчик швидкості шастання (yaw-sensor) і датчик повороту керма. Датчик швидкості шастання належить до класу віброуючих гіроскопів. Основний елемент гіроскопа — металевий циліндр, чия оправа коливається в еліптичних формах. Сигнал гіроскопа виникає під впливом прискорення Коріоліса, що є наслідком обертання циліндра відносно своєї осі та її вібрацій, пропорційних обертальній швидкості автомобіля навколо вертикальної осі і щодо осі циліндра. Для надійної роботи системи VDC дуже важливо, щоб слабкий вихідний сигнал датчика шастання виявився досить стійким, на виході датчика встановлюється інтегруючий пристрій, який виключає випадкові "обурення" вихідного сигналу. У датчику кута повороту рульового колеса використовується оптико-електронний перетворювач, виконаний із застосуванням світло-діодів і фото-транзисторів (дивись рисунок 2.25 і 2.28). Оптиелектронні пари з'єднані з ЕБУ цифровим інтерфейсом. Датчик встановлено на рульовому колесі і вимірює абсолютний кут його повороту.

Для отримання високої точності застосовується поетапне кодування з допомогою каліброваного набору фототранзисторів, встановлених за світломодулюючим диском. Ця конструкція призводить до винятково високої надійності і точності датчика, на який можна покладатися як на еталонний при калібровці інших датчиків системи VDC. Демпфірування амортизаторів у системі керування активною підвіскою використовують у акселерометрі датчика бічних прискорень. Такий датчик виробляє

електричний сигнал, пропорційний зміщенню центра мас, а зміщення центру мас пропорційно бічному відведенню (зносу) автомобіля. Помилки за умови встановлення датчика і кренність автомобіля призводять до похибки у показаннях датчика, що компенсується програмою управління, яка закладена в ПЗП системи VDC. Датчик тиску встановлений у гальмовому контурі передніх коліс і призначений для вимірювань тиску у гальмівній системі, який нагнітається водієм у вигляді педалі гальма. Основний елемент датчика — мікроелектронний чіп, виконаний із застосуванням кремнієвої діафрагми. Вихідний сигнал чіпа заземлений на корпус датчика. Та як у гідросистемі тиск може досягати високих значень (до 350 бар), то датчик повинен мати високу конструктивну міцність і надійне кріплення. Як зазначалося, при оснащенні автомобіля системою VDC знадобилося деяке ускладнення інтерфейсу бортових систем. Це пов'язано з тим, що кількість інформаційних сигналів і функціональних перетинів між компонентами системи управління помітно збільшилася, а вимоги до функціональної надійності автоматики управління зросли.

### 8.4.3 Гідросистема

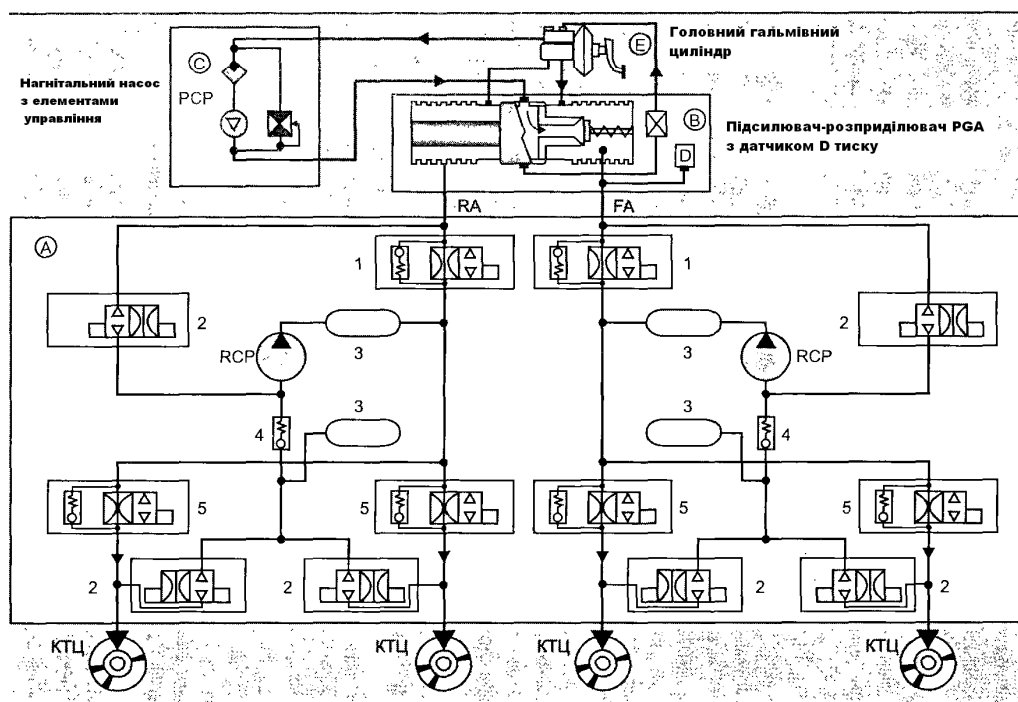


Рисунок 8.7 - Гідравлічна частина системи VDC

Одною з найбільш важливих експлуатаційних особливостей автомобільних гідросистем — є надійність функціонування при низьких температурах. Бо за

температури нижчій за  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  вязкість гальмівний рідини помітно зменшується, це призводить до уповільнення швидкості рідинних потоків у гальмівній системі, що неприпустимо при застосуванні системи VDC. На рисунку 8.7 показана гідравлічна частина системи VDC, яка стійко працює при низьких температурах..

У цьому два плунжера в PGA починають розгортатися і нагнітають гальмівну рідину в насоси рециркуляції RCP під заданим тиском, яке флонується пружинними (1 і 4) і електричними (2) клапанами і підтримується ресиверами (3). Це призводить до того що потік рідини, що йде від RCP, подається в робочі контури FA і RA під тиском, що є нормальним для стійкого функціонування системи VDC при низьких температурах. Із міркувань функціональної надійності і експлуатаційної безпеки системи VDC головний нагнітальний насос RCP постачає гальмівною рідиною насоси рециркуляції RCP через буферні камери диференціального гідро підсилювача PGA. Електричні гідроклапани 2 і 5 можуть відпрацьовувати дві програми автоматичного управління тиском в колісних гальмівних циліндрах (КГЦ) — програму ABS (гальмування без блокування коліс) і програму VDC (курсова стійкість руху автомобіля виборчим приторможуванням коліс з одночасним регулюванням крутного моменту двигуна). Ці програми зберігаються у постійному запам'ятовувальному пристрої (в ПЗП) електронного блоку управління.

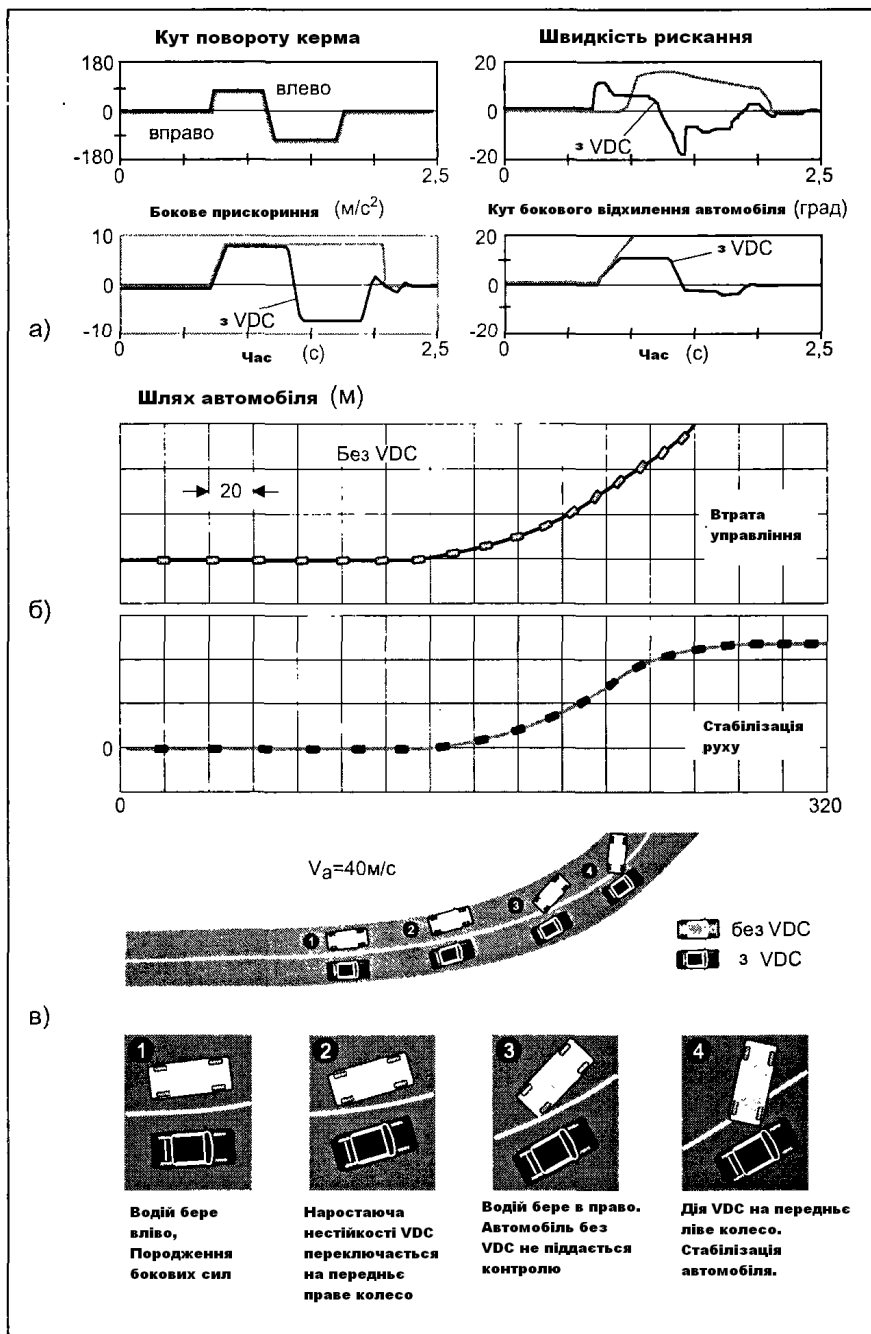
#### **8.4.4 Електронний блок управління**

Електронний блок управління (ЕБУ) містить стандартну чотирьохшарову друковану плату з двома частково резервними мікроконтролерами 83C196KL. Кожен контролер оснастили блоком постійної пам'яті обсягом 48 кілобайтів. На платі також встановлено всі запускаючі і комуруючі пристрої для включення каналів управління і контрольних ламп, напівпровідникове реле для подання живлення на потужні електроспоживачі (гідро клапани і нагнітальні насоси), ланцюга CAN інтерфейсу. У зв'язку з збільшенням кількості управляючих сигналів CAN інтерфейс інтегрований в мікрочіпи контролерів і забезпечує керований (по заданій програмі) обмін інформацією між ЕБУ двигуна, ЕБУ ABS, ЕБУ активної підвіски і функціональними блоками системи VDC. Зв'язок здійснюється з допомогою модифікованої інтерфейсної шини.

### **8.5 Результати експериментальних досліджень**

#### **8.5.1 Випробування автомобіля з системою VDC при різкій зміні напрямку руху**

Для оцінки ефективності системи VDC проводилися модельні і натурні випробування автомобіля під час маневру зміни траєкторії руху. Порівнювалися два однотипних автомобіля, один з яких обладнаний системою VDC. Маневр здійснювався шляхом різкого повороту рульового колеса у позитивний і негативний бік з кроком  $90^{\circ}$ . Були прийняті такі початкові умови експерименту: швидкість автомобіля  $40\text{ м/с}$ , становище педалей управління гальмом і акселератором під час маневру не змінювалося; поверхня дороги однорідна (сухий асфальт), коефіцієнт тертя між колесами та дорогою високий (нюу = 1,0). На рисунку 8.8, а показані порівняльні значення найважливіших змінних величин, аналіз яких здійснювався у процесі моделювання: кут повороту керма (град.), швидкість шастання (град/с), бічне прискорення ( $\text{м/с}^2$ ), кут бічного догляду автомобіля (град.). На рисунку 8.8, б показана моделююча траєкторія руху автомобілів.



**Рисунок 8.8 - Випробування автомобіля з системою VDC при зміні траєкторії руху**

На рисунку 8.8, в виділена характерна частина траєкторії руху автомобілів і результуюча сила кожного колеса в контрольних точках цієї траєкторії. Після першого входного впливу поворотом рульового колеса на  $90^\circ$  звичайний автомобіль показує виникаючу нестійкість (на рисунку 8.8, в позиція 2), яка виникає через затримки появи бічної сили на задніх колесах (в порівнянні передніми). На позиції 3 рисунку 8.8 в, кут повороту рульового колеса змінюється у протилежному напрямі. Швидкість шастання і кут бічного відведення швидко збільшуються, стабільність автомобіля не відновлюється, і автомобіль продовжує з'їжджати з дороги (позиція 4 на рисунку 8.8, в). Після першого входного впливу поворотом рульового колеса автомобіль із системою VDC формує певну нестійкість. Але при цьому система VDC формує гальмівний момент, прикладений до першого переднього колеса (рисунок 8.8, с позиція 2), що зумовлює поворот результуючої сили у цьому колесі як наслідок, — уповільнення



зростання швидкості шастання і кута бічного відведення (рисунок 8.8, а). Автомобіль утримується від знесення. Після другого входного впливу поворотом рульового колеса (рисунок 8.8, а) швидкість шастання змінює свій знак, а система VDC формує гальмівний момент на лівому передньому колесі і автомобіль знову стабілізується (рисунок 8.8, в позиція 4). Моделювання було проведено використанням блоку FASIM (моделювання динаміки автомобіля) [46]. Результати моделювання перевірені на випробувальному автомобілі.

### 8.5.2 Гальмування на своєму шляху автомобіля по гладкому льоду

На рисунку 8.9 показані порівняльні характеристики основних параметрів руху автомобіля під час повного гальмування на гладкому льоду (ню  $\sim 0,15$ ). Випробувальний автомобіль для порівняння було обладнано серійними системами ABS і VDC.



**Рисунок 8.9 - Гальмування при русі автомобіля по гладкому льоду**

На рисунку 8.9 зліва показані результати випробувань із системи ABS, справа — із системи VDC. Маневрування проводилося при швидкості руху автомобіля 50 км/год з участю водія під управлінням. Результати випробувань із системи ABS показують, що швидкість шастання і кут бічного відведення автомобіля швидко досягають великих значень.

Результати випробувань із системи VDC показують (рисунок 8.9 справа), що швидкість шастання і кут бічного відведення автомобіля під час гальмування змінюються у малих межах і негайно відгукуються на маневрування при управлінні рухом. І тут водій повинен встигати ставити додатковий невеличкий кут повороту рульового колеса убік, протилежну відведенню, і автомобіль рівномірно зупиняється. Важливо, що гальмівний шлях автомобіля з системою VDC менший, ніж автомобіля і системи ABS. Це пояснюється обмеженням кута бічного відведення автомобіля, чому відповідає краща ABS-регуляція.

### 8.5.3 Випробування автомобіля при русі по замкнутій траєкторії зі збільшенням швидкості

На рисунку 8.10 показані порівняльні значення основних змінних величин під час руху автомобіля по замкнутій траєкторії зі збільшенням швидкості. Випробування

проводилися на автомобілі з системою VDC (рисунок 8.10 а, чи без системи VDC (рисунок 8.10, б). При цьому водій мав утримувати автомобіль на трасі. Траса однорідна, коефіцієнт тертя високий (ню = 1,0). На рисунку 8.10 штриховими лініями показані розрахункові значення кута повороту рульового колеса і кута відведення автомобіля, що є граничними залежностями цих величин від повільно дедалі більшої швидкості і відповідного бічного прискорення. З рисунку 8.10 видно, що поведінка автомобіля з системою VDC і без VDC ідентична до величини бічного прискорення 7 м/с<sup>2</sup> і майже збігаються з розрахунковим. При значеннях бічного прискорення вище 7 м/с<sup>2</sup> починає швидко зростати кут відведення автомобіля і кут повороту рульового колеса. Далі при значеннях прискорення 7,5 м/с<sup>2</sup> звичайний автомобіль стає некерованим. На автомобілі з системою VDC при значеннях бічного прискорення вище 7 м/с<sup>2</sup> включається система VDC, яка, керуючи кутом повороту дросельної заслінки, зменшує швидкість автомобіля, відповідно, і бічне прискорення до 5 м/с<sup>2</sup>. При цьому кут відведення автомобіля і кут повороту рульового колеса зменшуються відповідно до характеристиками на рисунку 8.10 а, і автомобіль залишається керованим. Таким чином, динамічний діапазон функціонування системи VDC лежить в межах значень бічного прискорення від 7 м/с<sup>2</sup> до 5 м/с<sup>2</sup> (відповідно до рисунку 8.10, а).

### Збільшення швидкості руху при повороті

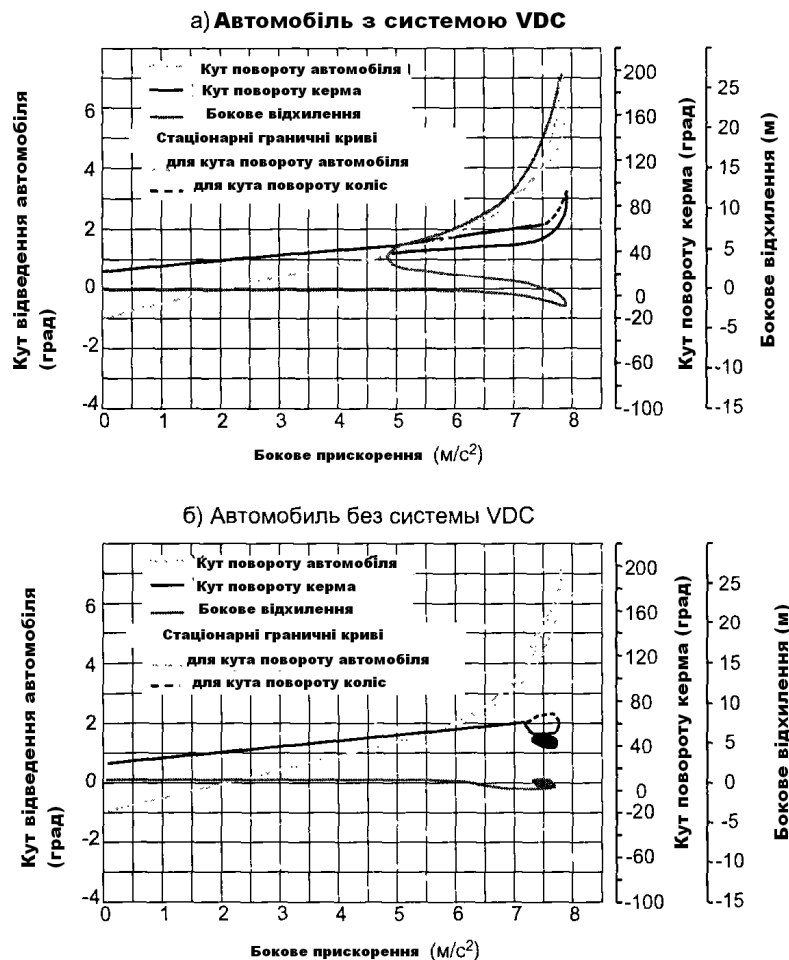


Рисунок 8.10 - Рух автомобіля по замкнутій траєкторії зі збільшенням швидкості

### 8.6 Надійність системи VDC. Пошук несправностей

Підвищена надійність і бортова діагностика несправностей як окремих компонентів, так і всієї системи загалом забезпечує безпечну експлуатацію системи

VDC. Підвищення надійності роботи накладає додаткові вимоги на термін служби компонентів, на процес їх виробництва, на функціональні взаємозв'язки між компонентами, на методи діагностування несправностей у системі. Багато джерел несправностей повинні бути локалізовані в процесі роботи або зменшена можливість того, що несправності відбудуться.

Основні засади підвищення надійності й пошуку несправностей у системі VDC було взято з програмного забезпечення бортової діагностики, упровадженого із системи ABS і ASR. Оскільки бортова діагностика контролює всі компоненти, які електрично з'єднані з ЕБУ. Контролюються електричні сполуки, сигнали та його дії. До того ж до системи VDC було запроваджено нові засоби і забезпечення. Наприклад, виконавчі гідромеханізми перевіряються з допомогою коротких циклів модуляції тиску з наступним аналізом сигналів від датчика тиску. Таким самим шляхом перевіряється і справне функціонування насосів, диференціального регулятора тиску і електромагнітних гідроклапанів. Датчики контролюються за трьома програмами. У першому етапі найважливіші датчики перевіряються з допомогою активного тесту. Так, правильність показань датчика тиску аналізується у процесі активних тестів для виконавчих механізмів і активного тесту гальмування. Yaw-датчик (швидкості шастання) перевіряється тестом самодіагностики. При цьому на чутливий елемент датчика подається збудження, після чого аналізується відповідний сигнал. Датчик кута повороту рульового колеса має активну схему самоконтролю. Усі відповідні сигнали з датчиків вступають у ЕБУ, де постійно аналізуються і на їх основі формується загальний сигнал справності системи VDC. На другому етапі датчики контролюються програмою постійного спостереження, теж саме під час їзди автомобіля. У цьому використовуються алгоритми визначення величини неузгодженості сигналів датчика і калібрування сигналів. На третьому етапі датчики перевіряються на розрив чи коротке замикання з'єднувальних дротів й наявність внутрішніх зєднань, і навіть реєструються порушення форми сигналів (вихід за допустимі межі та спотворення). Усі три програми реалізуються бортовою системою самодіагностики, яка інтегрована в ЕБУ—VDC. Залежно від виду несправності і рівня її впливу на безпеку руху система самодіагностики частково чи повністю відключає систему VDC. В результаті впровадження системи VDC досягається таке:

- підвищується безпека водія і рух автомобіля;
- здійснюється підтримка водія при управлінні автомобілем в критичних ситуаціях;
- зберігається задана водієм траєкторія руху автомобіля у всіх режимах: повне гальмування, часткове гальмування, рух накатом, прискорення, гальмування двигуном;
- підтримується стабільність руху автомобіля під час критичного управління (переляк, панічна реакція);
- поліпшується використання сил тертя між колесами та дорогою, що зменшує гальмівний шлях за підвищеної сили тяги. Зрозуміло, що впровадження системи VDC приводить до зменшення числа нещасних випадків, сприяє безпеці водіння і запобігає дорожньо-транспортним подіям з важкими наслідками.

## **Тема 9 Електромагнітний привід газорозподільних клапанів в поршневому двигуні внутрішнього згоряння**

### **9.1 Попередні зауваження**

### **9.2 Механічні клапани**

### **9.3 Електромагнітні клапани**

### **9.4 Електромагнітний клапан з пружинним ударним пристроєм**

### **9.5 Електромагнітний клапан з пружинною амортизацією**

### **9.6 Електромагнітний клапан з демпфіючим пристроєм**

### **9.7 Електромагнітний клапан без поворотної запірної пружини**

### **9.8 Магнітоелектричний клапан з гідравлічним амортизатором**

### **9.9 Електромагнітний клапан з пневматичним амортизатором**

### **9.10 Висновки**

### **9.1 Попередні зауваження**

У поршневому двигуні внутрішнього згоряння (ДВЗ) всі робочі процеси перетворення хімічної енергії спалюваного палива на механічну роботу колінчатого валу відбуваються всередині двигуна з допомогою зворотно-поступального руху поршнів в циліндрах. Головним пристроєм, які забезпечують штатну роботу поршневого ДВЗ, є його газорозподільний механізм (ГРМ). У ГРМ сучасних поршневих двигунів використовується механічний ланцюговий чи пасовий привід впускних і випускних клапанів через розподільний вал від колінчатого валу ДВЗ. Така кінематична схема приводу виключає можливості гнучкого адаптованого управління клапанами, що є головним недоліком механічних ГРМ. Розробникам автомобільних двигунів добре відомо, що створити поршневий ДВЗ без розподільного валу — ідея виключно плідна, оскільки з усуненням постійного кінематичного зв'язку між клапанами ГРМ і колінчатим валом ДВЗ з'являється можливість автоматичного регулювання фаз газорозподілу з допомогою електромагнітних клапанів, працюючих під керівництвом електронної автоматики. Це в свою чергу, відкриває нові перспективи до вдосконалення автомобільних поршневих двигунів, основною специфікою якого є робота у безупинно змінних режимах. Проте на шляху втілення таких ідей стоїть ряд проблем, основна з яких — розробка конструкції електромагнітного клапана, здатного довго й штатно (нормально) працювати у специфічних умовах газорозподільного механізму. У правильному напрямі створення газорозподільних клапанів ДВЗ з прямим електромагнітним приводом, у якому силовий електромагніт впливає безпосередньо на стержень клапана, працюють чимало зарубіжних фірм і кілька російських авто заводів. Але конструкцій, придатних на впровадження в серійне виробництво, ми не маємо.

### **9.2 Механічні клапани**

Широко відомі впускні і випускні клапани механічного принципу дії, що відкриваються штовхаючими зусиллями кулачків розподільного валу, а закриваються під впливом поворотної запірної пружини [37]. Такі клапани називаються механічними і, крім поворотної запірної пружини, обов'язково мають у своєму складі клапан, що складається з клапанної головки і клапанного стержня, гніздо з посадочною фаски для клапанної головки й направляючу втулку для клапанного стержня. Основні переваги механічних клапанів:

- простота конструктивної реалізації і компактність газорозподільного механізму (далі ГРМ), виконаного із застосуванням механічних клапанів;
- функціональна надійність ГРМ з механічними клапанами;
- мінімальний рівень ударних вібрацій в ГРМ з механічними клапанами і як наслідок, безшумність його роботи.

Основний недолік механічного клапана — його управління від кулачка розподільного валу, коли розподільний вал кінематично постійно (жорстко) пов'язаний з колінчатим валом двигуна. Така зв'язок не дозволяє створювати поршневі двигуни із програмним управлінням процесами газорозподілу від електронної автоматики, що перешкоджає подальшому їхньому (двигунів) вдосконаленню.

### 9.3 Електромагнітні клапани

Найперспективнішим до роботи в ГРМ з управлінням від електронної автоматики є клапан з безпосереднім електромагнітним приводом (Рисунок 9.1), який (клапан) відкривається електромагнітом 8, 9, 10 під час подачі нею управляючого електричного сигналу, а закривається поворотною пружиною 1.

Основна перевага електроклапанів — робота у ГРМ без розподільного валу з управлінням від електронної автоматики [36].

При подачі постійної управляючої напруги на обмотку 9 електромагніта його магнітопровід, що з нерухомого ярма 8 і магнітопровідної шайби (рухомого якоря) 10, стуляється і магнітопровідна шайба 10 своїм ходом «вниз» штовхає клапанний стержень 3, цим відкриваючи запірний вузол 2, 4 клапана. Після припинення дії постійної управляючої напруги струм в обмотці 9 електромагніта переривається, магнітне полі в магнітопроводі 8, 10 зникає, магнітопровідна шайба 10 під впливом поворотної пружини 1 піднімається «вгору» і запірний вузол 2, 4 електроклапан закривається.

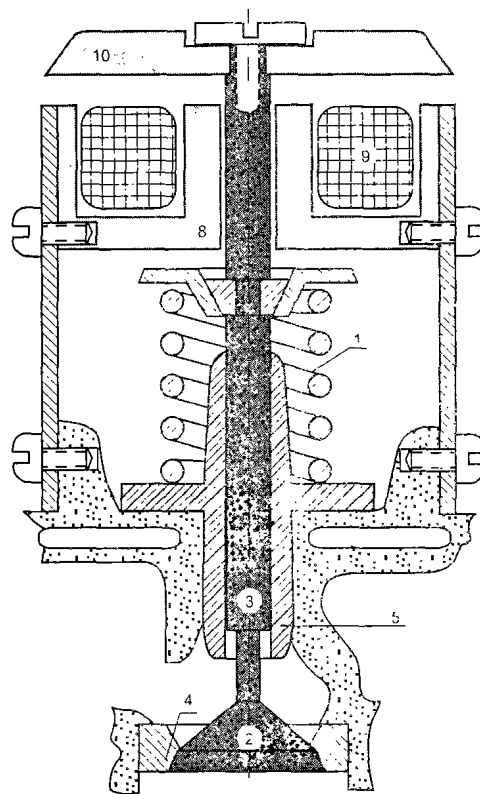


Рисунок 9.1 - Електромагнітний клапан

Електромагнітний клапан має трьома суттєві вади:

- задля подолання зусилля поворотній запірної пружини 1 електромагніт 8, 9, 10 повинен мати значну тягову силу, що робить її габаритні розміри і індуктивність неприпустимо великими, а споживання від борт-мережі автомобіля — значним;
- при різкому падінні величини постійно управляючої напруги, наприклад під час пуску двигуна в холодний зимовий час, електромагніт 8, 9, 10 може не подолати поворотного зусилля запірної пружини 1 і тоді клапан залишиться закритим;
- під час відкриття і закриття електромагнітного клапана мають місце гучні клацальні удари: при відкриванні — магнітопровідної шайби (якоря) 10 об ярмо 8, при закриванні — клапанної головки 2 о посадкову фаску 4. Як наслідок, робота електроклапана супроводжується значним шумом.

Усунення зазначених недоліків електромагнітного клапана можливо шляхом зменшення його габаритних розмірів, підвищення надійності і пониження шуму спрацювання, а також шляхом автоматизації керування процесами із застосуванням електронної автоматики.

#### **9.4. Електромагнітний клапан з пружинним ударним пристроєм**

На Рисунку 9.2 показано пристрій електроклапана ГРМ, виконаного за авторським свідоцтвом СРСР № 1395844 (Бюл. № 18, 1988 р.).

Основна ідея цього винаходи у тому, що вище описаний електроклапан (Рисунок 9.1), якому на Рисунку 9.2 відповідають позиції 1, 2, 3, 6, 7, 8, доповнений пружинним ударним пристроєм (на Рисунку 9.2 поз. 4, 9, 10, 11, 12). Ударний пристрій приводиться в дію втяжним електромагнітом 5, 9, 10, 11, а спускається «на удар» спусковим електромагнітом (на Рисунок 9.2 поз. 14, 15, 16, 17, 18) і зворотньою пружиною 12, ослабленою порівняно з основний пружиною 8.

Керування електромагнітним приводом клапана здійснюється без розподільного валу — від електричних сигналів, сформованих в релейно-електронному пристрої керування, що дозволяє змінювати фази газорозподілу. Коли клапан закритий, всі три електромагніта знеструмлено і клапанна голівка 6 надійно й щільно притиснута до посадкової фаски 20 поворотній запірною пружиною 8. Фіксує шток 14, встановлений на якорі 15 пускового електромагніта, перебуває у затиснутому стані під голівкою 11 якоря пружинного ударного пристрою. Коли клапан відкривається, електромагніти у певній послідовності включаються на спрацювання шляхом подачі імпульсів постійної напруги з їхньої обмотки від релейно-електронного блоку управління. Послідовність спрацювання електромагнітів при відкриванні клапана наступна. Спочатку, з дуже коротким випередженням, спрацьовують втяжний і спусковий електромагніти. Під впливом втяжного електромагніта голівка 11 разом із якорем 9, 10 піднімається вгору, а фіксує шток 14 під впливом спускового електромагніта втягується якорем 15 в котушку 18, цим масивний якір 9, 10, 11 готується для спрацювання «на удар». Далі включається основний відкриваючий електромагніт і водночас відпускається (знеструмлюється) втяжний електромагніт, а спусковий електромагніт залишається у стані утримання якоря 15 в котушці 18. У результаті комутації відкриваючий електромагніт напружує основну поворотну запірну пружину 8 і після ударного (зімкнутого) впливу з боку масивного якоря 9, 10, 11 (який після знеструмлення котушки 5 втяжного електромагніта приводиться в миттєвий рух поворотну пружину 12) переміщає основний якір 7 і клапанну голівку 6 «вниз» — газорозподільний клапан відкривається і утримується у відкритому стані, поки

відкриваючий електромагніт перебуває під струмом.

При закриванні клапана спочатку відпускається (знеструмлюється) спусковий електромагніт і під дією малої поворотній пружини 16 його якір 15 виштовхується з котушки 18, а фіксуючий шток 14 переміщається під голівку 11 масивного якоря 9, 10, 11. Далі одночасно знеструмлюються (відпускаються) основний відкриваючий і втягуючий електромагніт. Основна поворотна запираюча пружина 8 піднімає якір 7 і клапану голівку 6 «вгору» — клапан закривається, а масивний якір 9, 10, 11 знеструмленого втяжного електромагніта під впливом поворотної пружини 12 дещо опускається «вниз» до упора головки 11 в фіксуючий шток 14. Останнім рухом реалізується фіксація пружинного ударного пристрою (масивного якоря 9, 10, 11 і поворотній пружини 12) у зведеному стані до наступного спрацювання клапана па відкривання.

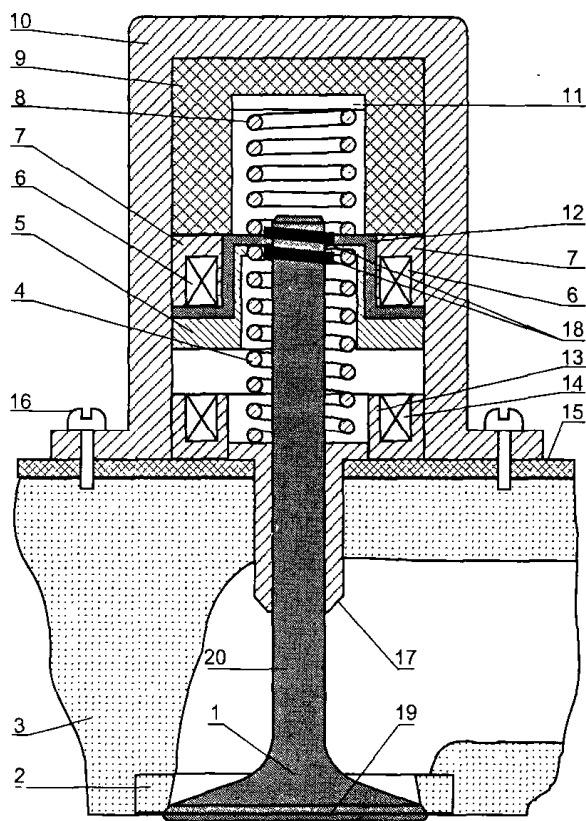
Метою описаного винаходи було зниження споживаної електричної потужності електромагнітним клапаном, яка досягнута оригінальним способом — ударом по якорю слабо точного і невеликого, відкриваючи електромагніт масивним якорем пружинного ударного пристрою.

Але такий електромеханічний клапан не може бути використаний у ГРМ автомобільних двигунів, оскільки значні шуми, які під час його спрацювання від зіткнень рухливих компонентів, не усунуті. Функціональна надійність електромагнітного клапана з пружинним ударним пристроєм також недостатньо висока, оскільки для його сталої роботи потрібна синхронізація удару масивного якоря з початком руху якоря відкриваючого електромагніт. Реалізувати синхронність двох механічних взаємодій за відсутності з-поміж них постійного кінематичного зв'язку й за високої швидкості спрацювання практично неможливо.

### **9.5. Електромагнітний клапан з пружинної амортизацією**

Усі електромагнітні клапани значно стукають під час роботи, з допомогою співудару рухомої і нерухомої частин клапана. Для усунення цієї вади можна застосувати пружинну амортизацію. Як приклад розглянемо газорозподільний клапан (ГР-клапан) для поршневого двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), розроблений і запатентований західнонімецькою фірмою Daimler — Benz — AG в 1976 році (Патент ФРН, № 2630512, клас: F 02D 13/02 від 7.07.1976 р.), пристрій якого показано на Рисунок 9.3.

Такий газорозподільний клапан працює наступним чином. Коли на обмотку 14 відкриваючого електромагніта (13, 14) подається керуюча напруга, якір 5 під впливом тяжіння до магнітопроводу 13 опускається «вниз» і, стискаючи нижню пружину 4, відкриває клапан 1. При цьому верхня амортизуюча пружина 8 сприяє відкриттю клапана, оскільки до цього вона в частково стиснутому стані. При закритті клапана котра керуюча



**Рисунок 9.3 - Електромагнітний клапан з пружинної амортизацією**

- 1 — газорозподільний клапан;
- 2 — клапанна фаска;
- 3 — голівка блоку циліндра;
- 4 — нижня амортизуюча пружина;
- 5 — якір (рухлива частина) електромагнітного приводу;
- 6 — обмотка закриваючого електромагніта;
- 7 — магнітопровід закриваючого електромагніта;
- 8 — верхня амортизуюча пружина;
- 9 — шумопоглинач;
- 10 — корпус електромагнітів;
- 11 — регулювальна шайба-прокладка;
- 12 — незмикаючий (дистанційний) повітряний зазор;
- 13 — магнітопровід відкриваючого електромагніта;
- 14 — обмотка відкриваючого електромагніта;
- 15 — термоізоляційна і шумопоглинаюча прокладка;
- 16 — кріпильний болт;
- 17 — клапанна направляюча втулка;
- 18 — фіксатор для кріплення якоря 5 на стержні 20 клапана 1
- 19 — клапанна голівка;
- 20 — клапанний стержень

напруга подається на обмотку 6 закриваючого електромагніта (6, 7), і з обмотки 14 котра управляє напругою знімається. Якір 5 відштовхується нижньою стисненою амортизуючою пружиною 4 «вгору» і притягається до магнітопроводу 7 закриваючого електромагніта. При цьому клапан 1 закривається, щільно притискаючись клапанною



голівкою 19 до клапанної фаски 2. Не змикаючий повітряний зазор 12 встановлюється при складанні клапана з допомогою фіксаторів 18 в такий спосіб, щоб повне змикання якоря 5 з магнітопроводом 7 не було зовсім, але щоб зазор 12 мав гранично малий розмір. Цим забезпечується щільне притиснення клапанної головки до клапанної фаски з допомогою закриваючого електромагніта. Пружина 8 при закритті клапана й пружина 4 за його відкриття працюють на амортизацію жорстких механічних зіткнень. Амортизація проходить завдяки тому, що по мірі стиску пружин їх пружність плавно зростає, чим забезпечується уповільнення швидкості наближення клапана до крайових опор в положенні «відкрито» і «закрито». Пружність амортизуючих пружин 4 і 8 значно ослаблена проти пружності запірної поворотної пружини звичайного механічного клапана. Це дозволяє понизити споживання з борт мережі автомобіля, затрачуваного на роботу електромагнітного клапана, також дещо зменшити його габарити. Основними вадами описаного клапана є :

1. На амортизацію зіткнень витрачається певна частина тягових зусиль відкриваючого (13, 14) і закриваючого (6, 7) електромагнітів, що зумовлює зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) і недостатнього зменшення габаритів електромагнітного приводу газорозподільного клапана. Але при цьому зіткнення клапанної головки з клапанною фаскою на своєму шляху клапана вгору (при закритті) не усувається.

2. У знеструмленому стані обох електромагнітів амортизуючі пружини 4 і 8, протидіючи одна одній, встановлюють якір 5 в проміжному становищі між станами «відкрито» і «закрито». На реальному поршневому ДВЗ, у разі порушення цілісності (чи вимикання) електричного ланцюга управління електромагнітним клапаном, особливо небезпечно, так як у цьому випадку може з'явитися зіткнення поршня і клапана. Зрозуміло, що експлуатаційна надійність такого газорозподільного клапана недостатньо висока.

3. При застосуванні вищеописаного клапана як якості впускного для поршневого ДВЗ реалізувати управління швидкістю переміщення і величиною ходу клапана неможливо.

Підвищення ККД можна досягнути через усунення із конструкції клапана амортизуючих пружин 4 і 8 та їх заміною пружними відбійниками, виготовленими з жорсткої ударостійкої гуми (чи іншого пружного і ударостійкого матеріалу) і встановленими на якорі (рухомі частини) електромагніта в такий спосіб, щоб їх зіткнення з торцями електромагнітів відбувалося безпосередньо перед змиканням якоря.

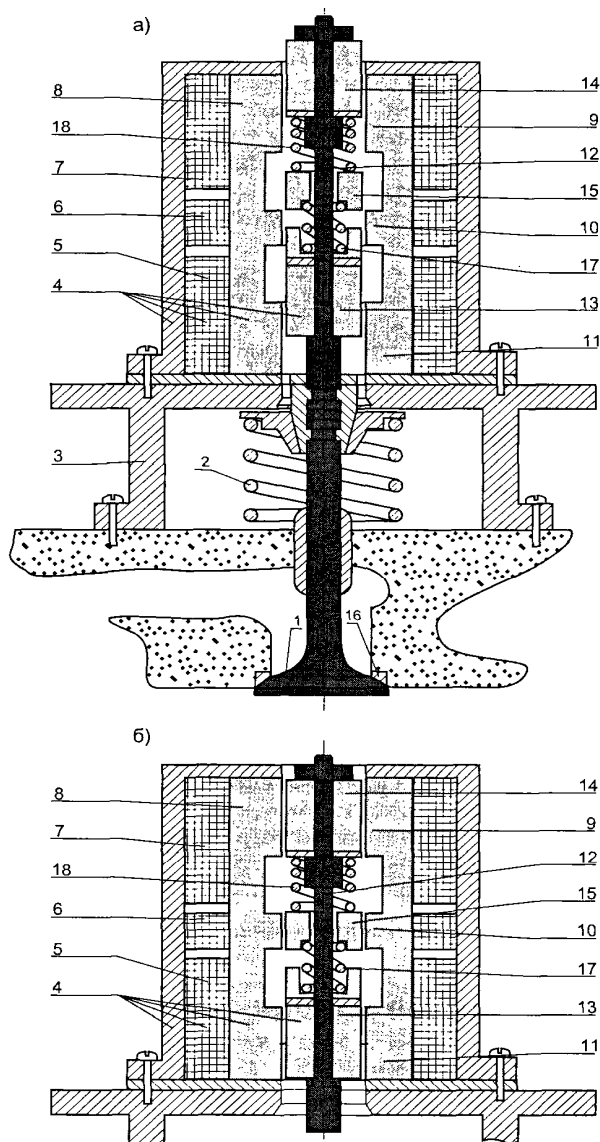
У такому разі амортизація досягається не за рахунок стиску амортизуючих пружин, а за рахунок гасіння сил співудару в сплющуючихся відбійниках наприкінці руху якоря. Така амортизація не викликає втрати електроенергії та, як наслідок, ККД електромагнітного приводу ГР- клапан збільшується.

Підвищення експлуатаційної надійності газорозподільного клапана з електромагнітним приводом можна досягнути шляхом установки на верхній торець клапанного стержня поворотної пружини, пружність якої значно ослаблена.

### **9.6 Електромагнітний клапан з демпфіруючим пристроєм**

Значне зниження шуму, виникаюче під час роботи електромагнітного клапана, можливе, при застосуванні гідравлічної, пневматичною чи електромагнітної амортизації; а у разі використання тягових електромагнітів — при застосуванні у них соленоїдних тягових катушок, в магнітопроводі яких відсутні граничні (крайові) опори для рухомого якоря.

На Рисунку 9.4 показано пристрій електромагнітного клапана з соленоїдним електромагнітом, з традиційною крученою поворотною пружиною і з електромагнітним демпфером, який гасить шуми і амортизує ударні коливання якоря (патент РФ № 2045662, 1992 р.).



**Рисунок 9.4 - Електромагнітний клапан з демпфіруючим пристроєм**

Як очевидно з креслення, електромагнітний клапан включає до свого складу звичайний газорозподільний клапан 1 механічного принципу дії з жорсткою поворотною пружиною 2, над якими з допомогою кріпильної стійки 3 встановлено електромагнітний привід 4. Електромагнітний привід клапана складається із трьох-секційного соленоїда 5, 6, 7, всередину якого вставлена труба 8, яка виконує роль магнітопроводу із трьома кільцеподібними полюсами 9, 10, 11. Через трубу 8 відносно із нею пропущено немагнітний стержень 12, на який встановлено два тягових якоря 13 і 14, а з-поміж них — один якор 15, «плаваючий» по стрижню 12. Усі три якоря за висотою відповідають «своїм» кільцеподібним полюсам, мають циліндричну форму і будуть виконані з магнітомягкого матеріалу. Тягові якоря 13, 14, 15 разом з соленоїдами 5, 6, 7, магнітопроводом 8 і кільцеподібними полюсами 9, 10, 11 утворюють відкриваючий електромагніт. При подачі імпульсів постійної напруги (управляючих сигналів від ЕБУ) на секції 5, 6, 7 соленоїда відкриваючий електромагніт спрацьовує, і відкриває газорозподільний клапан 1. При цьому елементи відкриваючого електромагніта займають становище, показане на Рисунку 9.4, б, і жорстка поворотна пружина 2

стискається.

Тепер, щоб клапан закрився, досить знеструмити секції 5 і 7 соленоїда, і жорстка поворотна пружина виштовхне всю рухливу частина електроклапана «вгору», а клапанна голівка 1 щільно притулиться до посадкової фаски 16. Елементи відкриваючого електромагніта займають становище, показане на Рисунок 9.4, а. Щоб посадка головки 1 в фаску 16 проходила плавно, без зіткнень, електромагнітна секція «полюс 10 — плаваючий якір 15» на час закривання клапана залишається під утримуючим струмом. Це забезпечує амортизацію удару головки клапана об посадкову фаску, оскільки малий соленоїдний електромагніт що з пружинами 17 і 18 забезпечують зменшення руху клапана 1 наприкінці його ходу. При відкриванні клапана зіткнень у його рухливих частинах немає, так як у соленоїдному електромагніті немає жорстких упорів в крайових положеннях.

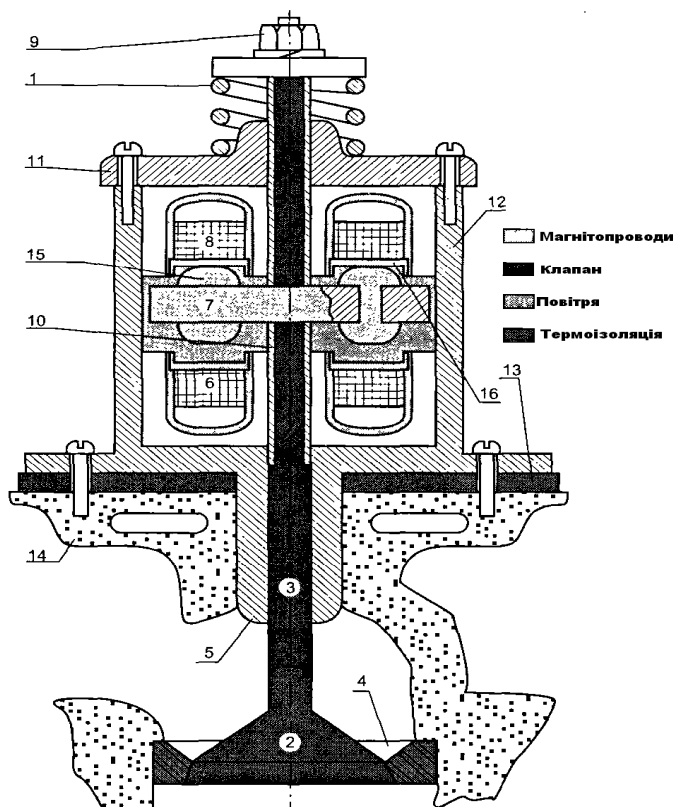
Але і такий електромагнітний клапан має суттєві недоліків.

По-перше, соленоїдний електромагніт має велику протяжність магнітопровода і зменшену тягову силу порівняно з змикаючими електромагнітами.

По-друге, рух феромагнітного якоря у магнітному полі соленоїда завжди супроводжується бринінням (вібраційними коливаннями) якоря в точках його зупинки та зміни напрямку руху.

По-третє, і це основний недолік, із застосуванням соленоїда в електромагнітному привід практично неможливо було створити електрокеруючий клапан ГРМ із регульованим ходом (ступенем і швидкістю відкривання).

### 9.7 Електромагнітний клапан без поворотно-запірної пружини



**Рисунок 9.5 - Електромагнітний клапан без поворотній запірної пружини**

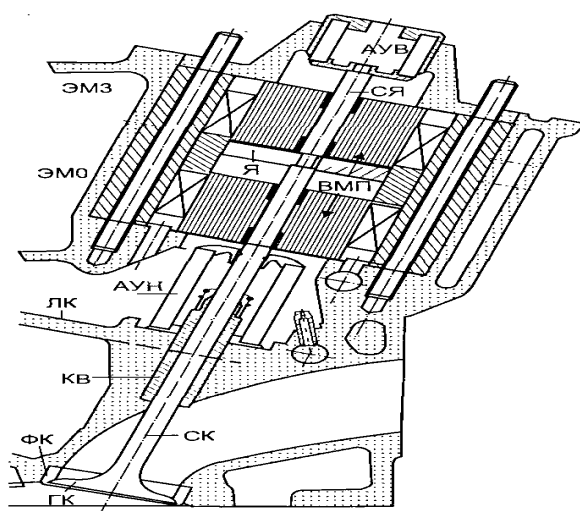
Як видно з креслення, електромагнітний клапан містить якір 7, загальний для обох електромагнітів. Якір 7 жорстко закріплено на клапанному стержні 3 з допомогою натяжної гайки 9 з контр шайбою і затискних трубок 10, виконаних з немагнітного

матеріалу. Електромагніти 6 і 8 зафіксовані у немагнітній гільзі 12, яка з допомогою гвинтів через термоізоляційну прокладку 13 повертається до головки 14 блоку циліндрів. Гільза 12 у нижній частині котра має напрямну втулку 5 для клапанного стержня 3, а у верхній частині — немагнітну кришку 11 з напрямною втулкою. Кришка 11 привернута до гільзі 12 гвинтами.

Електромагнітний клапан без жорсткої поворотної пружини і з управлінням від електронної автоматики працює так.

Коли обидва електромагніта знеструмлено, то пружина 1, яка розрахована лише на подолання маси рухомої частини клапана, піднімає її «вгору» і нещільно закриває клапан. Пружина 1 забезпечує клапану верхнє (прикрите) становище при вимкненому запалюванні двигуна. При включенні запалювання, ще до пуску двигуна, кожен електромагнітний клапан в газорозподільному механізмі займає робоче становище (запропоноване програмою управління клапанами, закладених у блоці пам'яті), яке задається клапану його електромагнітами. При подачі імпульсу постійної напруги від електронного комутатора клапанів (ЕКК) на обмотку першого відкриваючого електромагніта 6 феромагнітний яр 7 опускається «вниз» і це відкриває клапан. Клапан залишається в стійкому відкритому стані до того часу, поки електромагніт 6 включений (перебуває під струмом), а електромагніт 8 знеструмлено. Для закриття клапана електромагніт 6 (відкриваючий) знеструмлюється, але в електромагніт 8 (закриваючий) подається імпульс постійної напруги (управляючий сигнал від ЕКК). У цьому випадку яр 7 піднімається електромагнітом 8 «вгору» і клапанна голівка 2 з потрібним зусиллям притискається до посадкової фаски 4 — клапан закривається і залишається у стані до чергового спрацювання відкриваючого електромагніта 6.

Щоб запобігти жорстких зіткнень якоря 7 об виступаюче ярмо електромагніта 6 при відкритті клапана (або об ярмо електромагніта 8 при закритті) на якорі 7 встановлено не менше трьох пробійників 15 з жорсткої ударостійкої гуми. При наближенні якоря 7 до будь-кого з двох крайових положень відбійники притискаються до обмежувальної шайби 16 і дещо сплющуються, завдяки чому відбувається гальмування якоря 7 перед його остаточним змиканням з ярмом електромагніта 6 чи 8.



**Рисунок 9.6 – Газорозподільчий клапан**

При знеструмленні електромагніта гумові відбійники працюють на відштовхування якоря від ярма, чим сприяють швидкому їх розмиканню.

Моменти відкриття і закриття електромагнітного клапана формуються в

обчислювальному пристрої електронної системи автоматичного управління поршневим двигуном (ЕСАУ-Д). При цьому вхідними сигналами, по яких адаптується програма управління клапанами, є сигнали вхідних датчиків для ЕСАУ-Д.

Аналогічну конструкцію і такий принцип дії має газорозподільний клапан, показаний на Рисунку 9.6.

Його принципова відмінність від вищеописаного ЕМ - клапана з цими двома електромагнітами (див. Рисунок 9.5) у тому, що магнітопроводи (ВМП) його відкриваючого (ЕМВ) і закриваючого (ЕМЗ) електромагнітів виконані крученими з тонкої магнітомягкої ферострічки. Це значно знижує втрати у магнітопроводі на перемагнічування за високої частоті спрацювання газорозподільного клапана.

Оригінально вирішене питання амортизації зіткнень. Нижній амортизуючий пристрій (АПН) запобігає різким ударам якоря об нижній кручений магнітопровід під час відкриття клапана. При закритті зіткнення головки клапана (ДК) про посадкову фаску (ФК) запобігається верхнім амортизуючим пристроєм (АПВ).

Основних недоліків є три:

1. Відсутність жорсткої прив'язки стержня клапана (СК) до стержня якоря (СЯ).
2. Значна пружність в нижньому амортизуючому пристрої (АПН), що потрібно для підняття ГР - клапана вгору при закритті.
3. Складність наладки ЕМ - клапана на відсутність зіткнень.

Електромагнітний клапан без поворотної пружини, з двома електромагнітами, з пристроями для амортизації зіткнень і з управлінням фаз газорозподілу від ЕСАУ-Д хоч і відповідає вимогам щодо маси, габаритних, енергетичних і частково акустичних показникам, але не забезпечує регулювання швидкості і глибини відкривання клапанної головки.

### **9.8 Магнітоелектричний клапан з гідравлічною амортизатором**

З наведеного аналітичного огляду пристроїв і принципів дії електрокерованих клапанів для ГРМ очевидно, що завдання розробки та побудови таких пристроїв є їх вкрай складне і комплексне проблемне конструювання. Але наукові і інженерні пошуки тривають.

Останнім часом йде тенденція запровадження в пристрій газорозподільного механізму поршневих двигунів електрогідравлічних систем управління.

Гідравліка дозволяє з будь-яким ступенем плавності і точності, як по «жорсткій», так і по адаптивній програмі управління, досить оперативно (швидко) змінювати швидкість руху робочого органу шляхом скидання чи нагнітання тиску робочої рідини у замкненому обсязі під гідравлічним робочим поршнем.

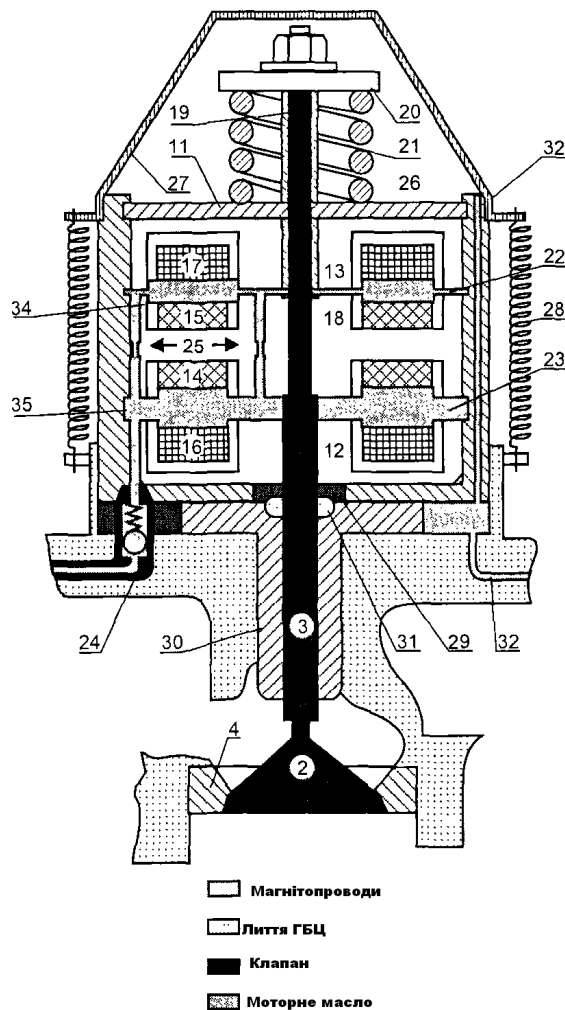
Неважко собі уявити, що якщо рухливий стержень газорозподільного клапана оснастити гідроциліндром з керованим тиском, то швидкість і рівень відкривання (глибина ходу) клапана стануть також керованими.

На цьому принципі створено цілу низку різновидів газорозподільних клапанів з безпосереднім гідроприводом [38]. Але такі клапани вимагають для своєї роботи громіздку гідравлічну апаратуру керування і покищо не знаходять застосування в ГРМ сучасних автомобільних двигунів.

Більше перспективне є запровадження у конструкцію електроклапана мініатюрних гідравлічних пристроїв, демпфіруючих або амортизуючих у ньому жорстких співударів і що дозволяють управляти швидкістю спрацювання і глибиною відкривання електроклапана.

Найбільш раціональніша установка гідроамортизатора в електромагнітному клапані без поворотній пружини, але з двома змикаючими тяговими електромагнітами. Конструкція такого магнітного електроклапана приведено на Рисунку 9.7. Тут додатково до двох тягових електромагнітів встановлено два постійних магніти, тому такий електроклапан називають магнітоелектричним.

У магнітоелектричному клапані зменшення габаритних розмірів та підвищення надійності спрацювання досягаються значним ослабленням пружності поворотно-запірної пружини (або її усуненням), установкою другого закриваючого електромагніта (додатково до першого — відкриваючого) та збільшенням тягових сил обох електромагнітів двома постійними магнітами, установленими у магнітопроводах обох електромагнітів.



**Рисунок 9.7 - Магнітоелектричний клапан з гідравлічним амортизатором**

Більше ефективне зниження шуму спрацювання клапана (порівняно з гумовими і пружинними амортизаторами) і можливість автоматизації управління робочими процесами досягаються установкою всередину конструкції клапана двостороннього гідравлічного амортизатора, наповненого технічної рідиною під тиском, наприклад, моторною оливою від системи мащення бензинового двигуна чи моторним паливом від паливного насоса високого тиску дизельного двигуна.

Гідроамортизатор гасить жорсткі співударі в клапані і дозволяє автоматизувати управління процесами відкриття і закриття шляхом уповільнення чи прискорення швидкості перепускання технічної рідини між внутрішніми порожнинами гідроамортизатора.

Пристрій і магнітоелектричного клапана може бути пояснено з допомогою креслення, показаного на Рисунку 9.7. Постійні магніти 14 і 15 роблять електромагніти 12 і 13 позиційними. Гідравлічний амортизатор 11 — двосторонньої дії. Котушки 16 і 17 електромагнітів встановлено нерухомо в пазах магнітопроводів електромагнітів 12 і 13, а постійні магніти 14 і 15 закріплені в пазах поршня 18 гідроамортизатора 11. Можлива установка постійних магнітів в пазах під обмотками електромагнітів. Сам поршень 18 жорстко закріплено на клапанному стержні 3 з допомогою фіксуючої трубки 19, прижимної шайби 20 і затяжної гайки з контршайбою. Значно ослаблена поворотна пружина 21 затиснута між прижимною шайбою 20 і верхньої кришкою гідравлічного амортизатора 11.

Циліндричні порожнини (верхня 22 і нижня 23) всередині гідроамортизатора наповнені технічної рідиною під тиском, наприклад моторною оливою, що надходять від системи мащення двигуна через подаючий канал 24 з редуційним клапаном. З допомогою перепускних каліброваних жиклерів 25 верхня 22 і нижня 23 порожнини з'єднуються між собою.

Тертьові ділянки клапанного стержня 3 і поршня 18 змазуються моторним мастилом в циліндричних пустотах 22 і 23. Коли електроклапан відкривається, частина моторного мастила з нижньої порожнини 23 видушується у вигляді тонкої плівки по стержню 3 в порожнину 29, котра під днищем корпусу гідроамортизатора 11. Тут відбувається змащування нижньої частини клапанного стержня 3 і спрямовуючої втулки 30.

Для захисту камери згоряння від зайвого проникнення в неї моторного мастила через напрямну втулку 30, на неї згори надітий клапанний сальник 31. При закриванні клапана певна частина моторного мастила аналогічно потрапляє з верхньої порожнини 22 в пружинну порожнину 26, де змазує витки ослабленою поворотної пружини 21.

Згори поворотна пружина 21 накрита герметичною кришкою 27, яка за допомогою натяжних пружин 28 надійно фіксує гідравлічний амортизатор 11 у поглибленні головки 33 блоку циліндрів (ГБЦ) і тим самим перешкоджає виникненню вібрацій у корпусі гідроамортизатора 11 під час роботи електромагнітного клапана. Нагромаджені надлишки моторного мастила у пустотах 26 і 29 повертаються до картера двигуна по зливному каналу 32. Прямий 24 і зворотний 32 канали прокладено всередині тіла головки 33 блоку циліндрів, завдяки чому зовнішня поверхня головки захищена від попадання на неї моторного мастила й завше залишається суха.

У такій конструкції магнітоелектричного клапана пружинна фіксація гідроамортизатора на зовнішній поверхні ГБЦ сприяє підтриманню проміжків в тертьових зчленуваннях електроклапана в оптимальному для їхньої роботи (в не перекошеному) стані. Це забезпечує більш щільну посадку клапанної головки 2 в посадкову фаску 4.

Магнітоелектричний клапан працює таким чином.

Коли обидва електромагніти (12 і 13) знеструмлено, клапан утримується або закритим станом поворотної пружини 21 або постійним магнітом 15, або у відкритому стані — постійним магнітом 14. При відкритті клапана на його електромагніти 12 і 13 одночасно або по заданій програмі управління від електронної автоматики подаються два управляючих сигнали у вигляді імпульсів постійної напруги.

Управляючі сигнали мають таку полярність, при якій постійний магніт 14 притягається електромагнітом 12, а постійний магніт 15 відштовхується

електромагнітом 13. Під впливом виникаючих в такий спосіб магнітних взаємодій клапанний стержень 3 переміщається «вниз» і це відкриває запірний вузол 2, 4 магнітоелектричного клапана.

Миттєвому спрацюванню магнітоелектричного клапана, що властиве всім пристроям з приводом від електромагнітів, перешкоджає гідроамортизатор 11, оскільки технічна рідина усередині нього чітко й плавно перепускається через калібровані жиклери 25 з нижньої порожнини 23 в верхню порожнину 22. Коли поршень 18 без жорсткого співудару упреться в магнітопровід електромагніта 12, клапанна головка 2 повністю опуститься «вниз» і клапан відкриється.

З метою попередження зіткнень поршня 18 і магнітопровода електромагніта 12 між ними встановлено еластичну шайбу, наприклад, з ударостійкої гуми (на кресленні не показано).

Для надійного і швидкого закриття магнітоелектричного клапана зусилля ослабленої поворотної пружини 21 недостатньо. Тому, при закритті клапана з його електромагнітів 12 і 13 подаються управляючі сигнали з полярністю, протилежною для випадку відкривання. Зрозуміло, що при цьому магнітні взаємодії між електромагнітами і постійними магнітами також будуть протилежними, завдяки чому клапанний стержень 3 переміститься «вгору» і притисне клапанну голівку 2 до посадочної фаски 4 — клапан закриється.

Щоб виключити «клацання» від співудару поршня 18 з магнітопроводом електромагніта 13, між верхнім краєм поршня 18 і фіксуючою трубкою 19 встановлена сталева регульовальна шайба-прокладка (на кресленні не показано), що забезпечує наявність необхідного зазору.

При закритті електромагнітного клапана гідравлічний амортизатор 11 працює як і при відкритті, але діє у протилежному напрямі, тобто технічна рідина з верхньої порожнини 22 перепускається в нижню порожнину 23.

Якщо перепускання технічної рідини між порожнинами 22 і 23 зробити керованим, наприклад, з допомогою ромбовидних перепускних щілин з плавно змінюваним прохідним перерізом при русі поршня 18 (див. рисунок 9.7) або з допомогою електроннокерованого вентиля, встановленого на циліндрі гідроамортизатора 11 зовні, але проти кожної з внутрішніх порожнин 22 і 23 в точках мінімального їх обсягу (позн. 34 і 35 на рисунку 9.7 і позн. 15 на рисунку 9.8), то цим самим можна забезпечити у пршому випадку — уповільнення швидкості руху клапанної головки у її підході до крайнього становища «відкрито» і «закрито», а у другому випадку — автоматизацію управління швидкістю спрацювання і величиною ходу (глибиною відкривання) механічного клапана.

На рисунку 9.8 показано пристрій магнітоелектричного клапана з електроннокерованим вентилям зовні гідроамортизатора.

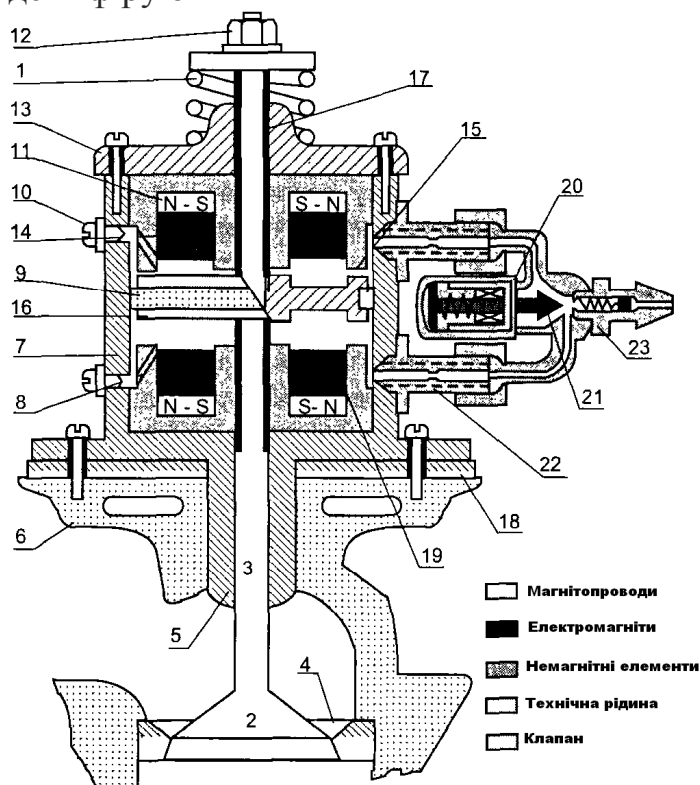
Ще один різновид пристроїв магнітоелектричного клапана з внутрішнім гідравлічним амортизатором наведено на рисунку 9.9.

Отже, автоматизацією управління роботою клапанів в газорозподільному механізмі із застосуванням гідравлічної амортизації і електрорегулюючих вентилів досягається найбільш оптимальне (по заданій програмі управління від електронної автоматики) регулювання фаз газорозподілу зі своїми підстроюванням під безупинно змінну частоту обертання колінчатого валу і навантаження поршневого двигуна. Більше того, оскільки сучасна електронна автоматика управління двигуном (ЕСАУ-Д) дозволяє реєструвати



параметри довкілля та робочий стан двигуна (температуру двигуна і кількість всмоктуваного повітря, вогкість повітря та його тиск у атмосфері, режими роботи двигуна та її управляючих систем — впорскування палива, електроіскрового запалювання, регулювання холостого ходу та інші), то електронне керування клапанами дозволяє враховувати й ці чинники під час складання програми для автоматичного управління газорозподільним механізмом поршневого двигуна. Управління клапанами стає програмним і адаптивним від ЕСАУ-Д під всі можливі зміни режимів і умов роботи двигуна.

Магнітоелектричний клапан газорозподільного механізму поршневого двигуна внутрішнього згоряння, працюючий без розподільного валу і без пружної поворотної пружини, що має у своєму складі відкриваючий і закриваючий електромагніти, тягові сили яких підсилені двома постійними магнітами, а також гідроамортизатор двосторонньої дії, демпфіруючий



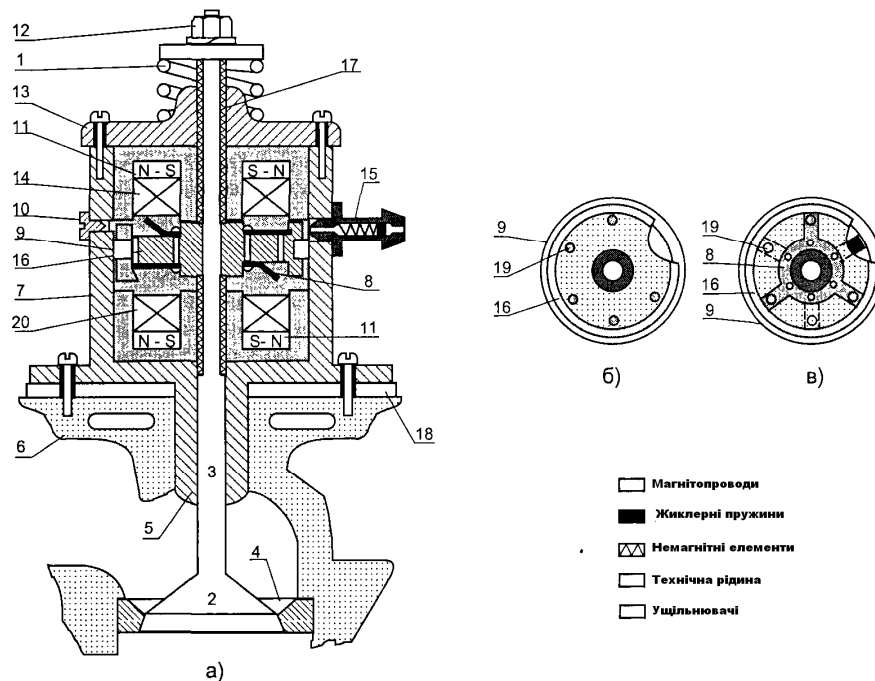
**Рисунок 9.8 - Магнітоелектричний клапан з керованим вентилем.**

- 1 — поворотна пружина;
- 2 — клапанна головка;
- 3 — клапанний стержень;
- 4 — клапанна фаска;
- 5 — напрямна втулка;
- 6 — головка блоку циліндрів (лита);
- 7 — корпус електромагнітів і гідроамортизатора;
- 8 — зливний канал;
- 9 — ущільнене кільце гідро амортизатора;
- 10 — пробка зливного каналу 8;
- 11 — кільцевий постійний магніт N-S;
- 12 — затяжна гайка;
- 13 — кришка корпусу 7;

- 14 — обмотка закриваючого електромагніта;
- 15 — повітряний зазор який не змикається (дистанційний);
- 16 — ярмір (рухома частина) електромагнітного приводу, котрий є поршнем гідроамортизатора;
- 17 — трубка немагнітна, яка фіксує ярмір 16 на клапанному стержні 3;
- 18 — термоізоляційна і шумопоглинаюча прокладка;
- 19 — обмотка відкриваючого електромагніта;
- 20 — електрогідравлічний пристрій управління;
- 21 — запірні голки;
- 22 — перепускний жиклер з каліброваним прохідним перерізом;
- 23 — штуцер з пружинним клапаном

співудари і дозволяючий з допомогою зовнішнього електрогідравлічного вентиля управляти від електронної автоматики швидкістю і глибиною ходу клапана, має такі переваги:

- габаритні розміри магнітоелектричного клапана зменшено, а надійність спрацювання під час падіння величини управляючого струму підвищена, жорсткість пружної поворотної пружини значно ослаблена, а електромагніт, відкриваючий механічний клапан, доповнений другим що закриваючим електромагнітом. Електромагніти відкривають механічний клапан за одним (прямим), а закривають за іншим (зворотним) напрямом постійного (управляючого) струму, для цього в магнітопроводі ланцюга тягових електромагнітів встановлено два постійних магніти, які роблять електромагніти позиційними і забезпечуючи механічному клапану надійну фіксацію у положеннях «відкрито» і «закрито» як із протікання по електромагнітам управляючого постійного струму, та у знеструмленому стані, причому у останньому випадку утримання механічного клапана реалізується одним з постійних магнітів у тому становищі («відкрито» чи «закрито»), у якому сталося знеструмлення електромагнітів;



**Рисунок 9.9** Магнітоелектричний клапан з внутрішнім гідроамортизатором

- а — конструктивне креслення клапана;
- б — жиклерні перепускні отвори на поршні гідроамортизатора;
- в — жиклерні пружини на поршні гідроамортизатора;
- 1 — поворотна пружина;
- 2 — клапанна головка;
- 3 — клапанний стержень;
- 4 — клапанна фаска;
- 5 — напрямна втулка;
- 6 — головка блоку циліндрів (лита);
- 7 — корпус електромагнітів і гідроамортизатора;
- 8 — жиклерні пружини;
- 9 — ущільнююче кільце;
- 10 — пробка зливного отвора;
- 11 — кільцевий постійний магніт N—S;
- 12 — затяжна гайка;
- 13 — кришка корпусу 7;
- 14 — обмотка закриваючого електромагніта;
- 15 — штуцер з пружинним клапаном;
- 16 — якір (рухлива частина) електромагнітного приводу, який є поршнем гідроамортизатора;
- 17 — трубка немагнітна, яка фіксує якір 16 на клапанному стрижні 3;
- 18 — термоізоляційна і шумопоглинаюча прокладка;
- 19 — жиклерні перепускні отвори на якорі 16;
- 20 — обмотка відкриваючого електромагніта

• жорсткі співударі і шум, які виникають під час спрацьовування клапана, значно ослаблені завдяки установці на стержень механічного клапана двостороннього гідравлічного амортизатора. Амортизатор складається з поршня з перепускними каліброваними отворами (жиклерами), який (поршень) жорстко закріплено на стержні механічного клапана й циліндра з двома порожнинами (верхньої — над поршнем, нижньої — під поршнем), наповненими технічної рідиною (наприклад, моторним мастилом від системи мащення двигуна чи моторним паливом від системи подачі палива) під тиском, завдяки чому при перепусканні технічної рідини через жиклери з однієї порожнини гідравлічного амортизатора до іншої рух стержня механічного клапана, а отже, і його (клапана) відкриття і закриття відбуваються поступово, без зіткнень в крайових точках руху;

• калібровані отвори (жиклери) в поршні гідроамортизатора можуть мати різні прохідні перерізи або можуть бути ромбовидними проточними каналцями, нанесеними на внутрішній бік стінки циліндра гідравлічного амортизатора, чим забезпечується поступове перекриття прохідних перетинів проточних каналців як наслідок, уповільнення ходу поршня при його наближенні до крайових положень;

• автоматизація управління величиною ходу (глибиною відкривання) і швидкістю переміщення механічного клапана можна реалізувати шляхом застосування електронно-керованого перепускного вентиля, що поєднує внутрішні порожнини гідравлічного амортизатора і системи нагнітання технічної рідини, для чого перепускний вентиль може бути встановлений зовнішньому боці циліндра у місцях змикання внутрішніх

порожнин (мінімального обсягу);

- реалізується примусове змачення тертьових зчленувань в електромагнітному клапані і підтримується робочий тиск у внутрішніх пустотах гідравлічного амортизатора шляхом подачі до однієї із порожнин технічної рідини під тиском. Рідина подається зі спеціального каналу з редуційним клапаном, який відкривається при розрідженні під (або над) поршнем гідравлічного амортизатора, чим заповнюються немінучі втрати робочої рідини з допомогою її витискування по стержню клапана через його тертьові зчленування;

- значно економиться електроенергія, затрачувана на спрацювання електромагнітної системи клапана, причому відкриття і закриття клапана, при добре прогрітому двигуні, можуть здійснюватися одним з двох електромагнітів;

- т для підвищення надійності спрацювання магнітоелектричного клапана за умов надзвичайно низьких температур (менш  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) може бути підігрів корпусу гідроамортизатора від електронагрівача. Перед пуском двигуна стартером, це забезпечує потрібну консистенцію технічної рідини в пустотах гідравлічного амортизатора;

- забезпечена автоматизація управління процесами спрацювання магнітоелектричного клапана шляхом зміни розміру і форми управляючих сигналів, сформованих в електронному блоці управління клапанами.

Маючи безсумнівними перевагами перед видами електромеханічних і електромагнітних клапанів, магнітоелектричний клапан з внутрішнім гідроамортизатором не є без недоліків. Основний із них — це порушення запрограмованого (штатного) режиму роботи клапана під час пуску сильно охолодженого двигуна (менш  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), коли технічна рідина починає згущуватись в перепускних пристроях гідроамортизатора. Для усунення цієї вади в бензинових двигунах треба використовувати найбільш рідкі сорти моторного мастила, а перед запуском сильно охолодженого двигуна — підігрівати магнітоелектричні клапани від електропідігрівачів.

## 9.9 Електромагнітний клапан з пневматичним амортизатором

Сьогодні йдуть інтенсивні розробки електромагнітних клапанів ГРМ з м'якою внутрішньою пневматичною амортизацією.

На рисунку 9.10 показано конструкція такого клапана, розробленого і запатентованого фірмою FEV MT (ФРН) 31.07.1997 року (DE 197.33.186A1, клас: F01L 9/04, публікація 4.02.1999 р.).

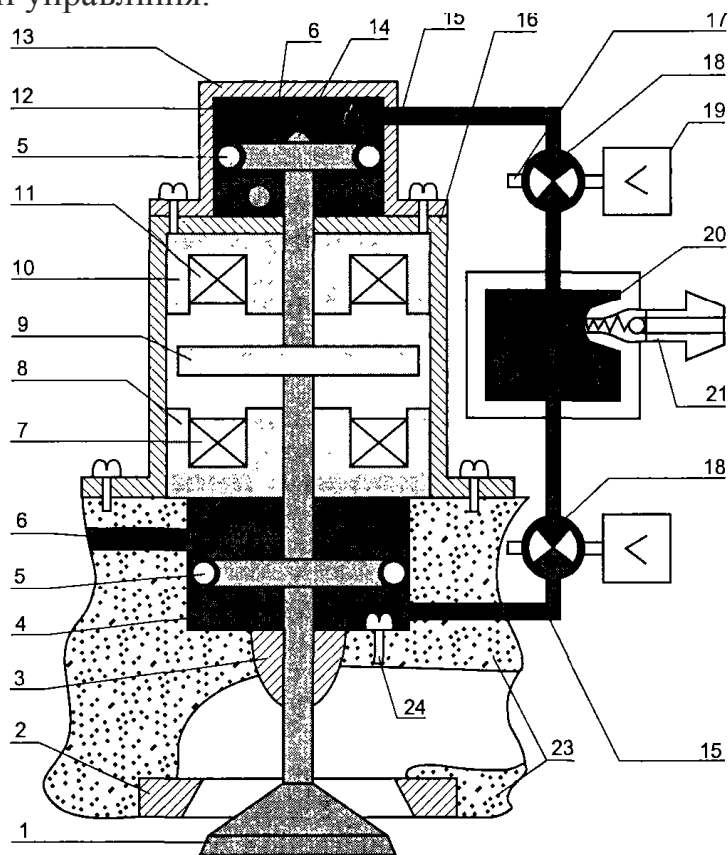
Електромагнітний клапан з пневмоамортизатором керується з допомогою двох електромагнітів — відкриваючого 7, 8 і закриваючого 10, 11. Електромагніти працюють як і, як й у вищеописаному електромагнітному клапані без поворотно-запірної пружини.

Специфікою у даному разі є і те, що у конструкції електромагнітного клапана відсутні кручені пружні поворотні пружини. Їх функції виконує симетричний двокамерний пневмоамортизатор. У пневмокамерах — нижній 4 і верхній 12 розміщено по одному пневмопоршню 5, які жорстко закріплені на клапанному стержні 14. Між пневмокамерами (зовні клапана) встановлено пневморесивер 20, який з'єднується з камерами через пневмоклапани 18, які приводяться в дію з допомогою електроприводів 19. Електроприводи, як і основні електромагніти 7, 8 і 10, 11, управляються від електронної системи автоматичного управління двигуном (ЕСАУ-Д) по програмі, закладеній в «пам'яті» ЕСАУ-Д.

Програмне управління процесами газорозподілу дозволяє змінювати фазові параметри клапанів з адаптацією під всіх можливі зміни умов та режимів роботи двигуна.

Амортизація механічних зіткнень в електромагнітному клапані регулюється шляхом керованого перепускання стиснутого повітря з ресивера 20 до однієї із пневмокамер 4 чи 12. Стиснене повітря через сапунні канали 6 і 17 поповнюється шляхом підкачування ресивера від пневмонасоса (на кресленні не показаний) через клапанний штуцер 21. Для контролю за величиною управляючого тиску  $P$  у нижній пневмокамері 4 встановлено датчик 24.

Робота двостороннього пневмоамортизатора полягає у наступному. Коли клапан 1 відкривається електромагнітом 7, 8, нижній пневмоклапан 18 переходить під управління ЕСАУ-Д (опосередковано через електропривод 19) і, працюючи в переривчастому режимі, регулює управляючий тиск  $P$  (за сигналом датчика 24) у нижній пневмокамері в такий спосіб, що поршень 5, а разом із клапаном 1 опускаються униз зі швидкістю, заданої по програмі управління.



**Рисунок 9.10 - Електромагнітний клапан з пневматичним амортизатором**

- 1 — газорозподільний клапан;
- 2 — клапанна фаска;
- 3 — напрямна втулка;
- 4 — нижня пневмокамера;
- 5 — пневмопоршень з ущільнювальним кільцем;
- 6 — сапунний канал;
- 7 — обмотка відкриваючого електромагніта;
- 8 — магнітопровід відкриваючого електромагніта;
- 9 — якір (рухлива частина) електромагнітного приводу;
- 10 — магнітопровід закриваючого електромагніта;

- 11 — обмотка закриваючого електромагніта;
- 12 — верхня пневмокамера;
- 13 — корпус верхньої пневмокамери;
- 14 — клапанний стержень;
- 15 — пневмонапорний канал;
- 16 — корпус електромагнітів;
- 17 — сапун;
- 18 — пневмоклапан;
- 19 — електропривод пневмоклапана 18;
- 20 — пневморесивер;
- 21 — клапанний штуцер для подачі пневмотиску  $P_d$  в ресивер 20;
- 22 — контакти електричного роз'єму;
- 23 — головка блоку циліндра (лита);
- 24 — датчик управляючого пневмотиску  $P$  в нижній пневмокамері

При цьому, коли притягання якоря 9 посилюється, управляючий тиск  $P$  у нижній пневмокамері 4 стає максимальним і рівним тиску  $P_d$  в ресивері 20. Саме тоді нижній пневмоклапан 18 відкривається, тиск  $P_d$  стискується через нижній сапун 17 й відбувається плавне, без зіткнень змикання якоря 9 з магнітопроводом 8, клапан 1 повністю відкривається. Під час відкриття клапана повітря з верхньої пневмокамери 12 стискується через сапунний канал 6, а через верхній пневмоклапан 18 і верхній сапун 17 в пневмокамеру 12 надходить повітря з атмосфери. При закритті клапана 1 електромагнітом 10, 11 пневмо-амортизатор працює точно так само, як і при відкритті, лише у протилежному напрямку.

Відносним недоліком електромагнітного клапана з пневмоамортизатором є наявність у його конструкції спеціального пневмонасоса і шиплячих сапунних каналів. Проте, і випадку застосування таких газорозподільних клапанів на вантажних автомобілях, обладнаних системою пневматичних гальм, ці недоліки немає істотного значення. Фірма FEV MT має намір використовувати свою розробку на дизельних двигунах вантажних автомобілів після 2006 року.

### 9.10. Висновки

1. Основний недолік механічних клапанів з приводом від розподільного валу — їх жорсткий кінематичний зв'язок з колінчатим валом. Це не дозволяє створювати поршневі двигуни з гнучким (адаптивним) програмним управлінням процесами газорозподілу від електронної автоматики, що перешкоджає подальшому їхньому (двигунів) вдосконаленню.

2. Основна перевага газорозподільних клапанів з прямим приводом від тягових електромагнітів — це робота без розподільного валу з управлінням від електронної автоматики.

3. За період від кінця 50-х років ХХ століття по наш час зареєстровано понад сто патентів на винахід газорозподільних клапанів з прямим приводом від силових тягових електромагнітів. Найактивніше у цьому напрямі працюють німецькі автомобілебудівні фірми [38—66].

4. Аналітичний огляд відомих конструкцій електромагнітних клапанів, їх описів в патентній, рекламній і іншій науково-технічній літературі, зазначає, що ми не маємо практично реалізованих розробок. Теоретичні дослідження та методики інженерних розрахунків з зібрань «KNOW-HOW» не публікуються.

## Тема 10 Електромобілі

- 10.1 Загальні відомості про електромобілі
- 10.2 Експлуатаційні характеристики електромобілів
- 10.3 Вузли, агрегати та системи електромобіля
  - 10.3.1 Класична схема
  - 10.3.2 Компоненти сучасного електромобіля
- 10.4 Зарядні та захисні пристрої
  - 10.4.1 Зарядні пристрої
  - 10.4.2 Захисні пристрої
- 10.5 Електродвигуни та приводні системи електромобіля
  - 10.5.1 Двигуни змінного струму
  - 10.5.2 Електродвигуни постійного струму
  - 10.5.3 Безколекторні електродвигуни постійного струму
  - 10.5.4 Електроприводні системи
  - 10.5.5 Електропривод постійного струму
  - 10.5.6 Привід безколекторних двигунів постійного кжа
  - 10.5.7 Електропривод змінного струму
  - 10.5.8 Напівпровідникові ключові пристрої
  - 10.5.9 Коробки перемикання передач для електромобілі
  - 10.5.10 Безпосередній привід
- 10.6. Тягові акумуляторні батареї
  - 10.6.1 Вимоги до акумуляторів електромобілів
  - 10.6.2 Робота акумулятора
  - 10.6.3 Типи акумуляторів для тягових акумуляторних б: 1.; Арен
  - 10.6.4 Перспективні джерела енергії для електромобілів
- 10.7 Допоміжні бортові системи електромобіля
  - 10.7.1 Система управління електромобілем
  - 10.7.2 Електромобільних система клімат-контролю
  - 10.7.3 Низьковольтні джерела живлення
- 10.8 Інфраструктура
  - 10.8.1 Електричні мережі
  - 10.8.2 Вищі гармоніки і коефіцієнт потужності
  - 10.8.3 Електромагнітне випромінювання
- 10.9 Гібридні електромобілі
  - 10.9.1 Послідовна схема
  - 10.9.2 Паралельна схема
  - 10.9.3 Змішана схема

### 10.1 Загальні відомості

Сьогодні більшість автомобільних виробників серійно випускають в невеликій кількості електромобілі. Гаражі різних міських служб експериментують із широкомасштабною експлуатацією електромобілів. У великих містах вже є пункти зарядки акумуляторів електромобілів. Проте сьогодні експлуатація електромобілів є економічно невиправданою, вона виготовляється більше з політичних, ніж екологічних міркувань. Електромобілі стоять значно дорожче аналогічних моделей з двигунами

внутрішнього згоряння (ДВЗ). Попри останні досягнення, технологія електромобілів ще досить не розвинена. Серйозний недолік електромобілів — малий пробіг до перезарядження акумуляторної батареї: 80... 160 км — залежно від швидкості. У гібридних електромобілях цей недолік долається з допомогою використання двох джерел енергії: електродвигуна з акумулятором і ДВЗ. Наприклад, гібрид Toyota Prius (Японія) при невеликих навантаженнях застосовує електричну тягу, на великих — бензиновий 1,5-літровий двигун внутрішнього згоряння чи обидва двигуна одночасно, акумуляторна батарея підзаряджається від ДВЗ. Забруднення навколишнього середовища токсичними відходами від гібридних електромобілів відносно автомобілів значно зменшена. Слід зазначити, що електромобілі з'явилися раніше, ніж авто із двигунами внутрішнього згоряння. Перший електромобіль, наведений в рух електродвигуном, що живиться від акумулятора, було створено 1835 року у США Т. Давенпортом. Спочатку електромобілі були поширеніші, ніж авто із ДВЗ: електродвигуни простіше включалися і керувалися, не було потреби у бензозаправних станціях, які у ті роки просто не існували. Скоре вдосконалення ДВЗ, поява електростартерів зробили електромобілі неконкурентоспроможними. Проте електромобілі ще довго застосовувалися обмежено місцевими службами доставки. Наприклад, пошта США їх використовувала у Нью-Йорку багато десятиліть. Збільшення забруднення довкілля з 1960 року стало критичним чинником, що підштовхнуло автомобілебудівників до розробки електромобілів. Однак водночас активно форсувались роботи з значного зменшення кількості токсичних речовин, що йде у довкілля від автомобілів з ДВЗ. Основна помилка електромобілів — короткий пробіг до перезарядження, щільність енергії у традиційному паливі для ДВЗ у двадцятьоро вище, ніж у сучасних акумуляторах. Органи штату Каліфорнія ухвалили, що з 1998 року 2% проданих нових автомобілів масою до 1700 кг мали бути екологічно чистими і не забруднювати довкілля токсичними речовинами (zero emission vehicle — ZEV). Відсоток таких автомобілів у Каліфорнії у проекті ZEV планувалося збільшити до 5% в 2001 року і до 10% 2003 року, насправді ці плани не були запроваджені.

Проте аналогічні законодавства, будуть введені в інших штатах. Сьогодні єдиним комерційно доступним автомобілем ZEV є електромобіль. Основний аргумент використання електромобілів — відсутність викидів токсичних речовин у навколишнє середовище. Забруднення атмосфери у великих містах автомобільними ДВЗ досягло критичного рівня. Перехід на електромобілі зменшить забруднення довкілля автомобілями, але збільшиться споживання й забруднення довкілля електростанціями. Якщо дивитися на забруднення довкілля тільки від автомобілів і електростанцій, то відбудеться таке. У атмосферу не надходитимуть токсичні речовини (канцерогени) СО, озон, леткі органічні сполуки. Рівень СО<sub>2</sub> буде знижений вдвічі, зміст окислів азоту NO<sub>x</sub> знизиться на 20...25%. Зміст двоокису сірки виросте. Двоокис сірки — продукт спалювання вугілля на теплових електростанціях викликає кислотні дощі. Для зменшення забруднення атмосфери під час спалювання палива окислами сірки й азоту на електростанціях встановлюють спеціальні фільтри. Другим аргументом на користь застосування електромобілів є скорочення споживання нафти. Теплові електростанції можуть споживати вугілля чи газ, авто із ДВЗ — лише паливо, вироблене з нафти, яка розвідана значно менше, ніж вугілля. Наприклад, в США лише 4% електроенергії виробляється електростанціями, які споживають нафтопродукти. Третій аргумент: більшість електромобілів будуть перезаряджатися в не піковий нічний час. Це дозволить



раціональніше використовувати наявну систему розподілу електроенергії, що сприятиме зниження тарифів. Постачальники електроенергії тарифної політики заохочують нічне перезарядження. Уряд США розглядає питання заохочувальної часткової компенсації витрат за електроенергію для придбання електромобілів. Серйозною вадою електромобілів є забруднення довкілля свинцем. На більшості електромобілів встановлено свинцево-кислотні акумуляторні батареї. Виробництво, експлуатація, утилізація таких батарей неминуче збільшує забруднення довкілля свинцем. Моделі електромобілів 1998 року у 60 разів більше забруднюють свинцем довкілля за пройдений кілометр, ніж автомобіль із ДВЗ на етиловому бензині. Акумулятори з урахуванням нікелю ще більше токсичні. Забруднення навколишнього середовища свинцем сильно зменшує екологічну привабливість електромобілів. Усупереч думці про високу економічність акумуляторних електромобілів, аналіз показує, що хімічна енергія палива, спалюваного на електростанціях, використовується для руху транспортних засобів всього на 15% і менше. Це наслідок втрат електроенергії у лініях електропередачі, трансформаторах, перетворювачах, зарядних пристроях для акумуляторів та тілах акумуляторів, електромашин, як в тяговому, і у генераторному режимах, а також в гальмах при неможливості рекуперації енергії. Порівняйте, дизельний двигун в оптимальному режимі роботи перетворює в механічну енергію близько 40% хімічної енергії палива. При великому поширенні акумуляторних електромобілів їм можливо бракуватиме електроенергії, яка виробляється усіма електростанціями світу. Не слід забувати, що сумарна настановна потужність двигунів усіх автомобілів значно перевищує потужність всіх електростанцій світу.

Вважають, що на сьогоднішньому рівні техніки широке застосування електромобілів зменшить забруднення атмосфери у містах, але погіршиться екологічна ситуація у місцях виробництва електроенергії та загалом на планеті.

## **10.2 Експлуатаційні характеристики електромобілів**

Основне завдання розробників електромобілів — створити модель, конкурентоспроможну автомобілю з ДВЗ. У таблиці 10.1 наведено характеристики деякого серійного виробництва сучасних електромобілів. Більшість електромобілів є модифікаціями звичайних автомобілів, наприклад, Ford Ranger чи ВАЗ1111 які випускаються і з ДВЗ, як і електромобілі. General Motors EV1 від початку проектувався як електромобіль. Модель має алюмінієвий кузов з композитними зовнішніми панелями. Батарея складається з 26 12-вольтових свинцево-кислотних акумуляторів. Напруга на затискачах батареї 312 В, запасна енергія 16,2 кВт в годину, ємність 53 А - година. На акумуляторну батарею випадає, майже половина маси електромобіля. Транзисторний інвертор перетворює постійну напругу 312 В в трьохфазну змінну з керованою частотою струму, подаваною на електродвигун потужністю 137к.с з оборотами 7000... 13500 на хвилину.

1. Основним обмеженням при експлуатації електромобілів є малий радіус дії. Середній автомобіль із ДВЗ і повним баком пального проходить 750...1100 км, і бак може бути заправлений за 5...10 хвилин. Сучасний електромобіль проходить до перезарядження менш 180 км, заряд батареї триває кілька годин. Малий радіус дії електромобілів пояснюється низькою щільністю запасаної енергії в акумуляторі. Для кислотно-свинцевого акумулятора цей показник становить 30...35 Вт год/кг, що менше, ніж для стандартного автомобільного палива — 12000 Вт год/кг. Насправді радіус дії

електромобіля залежить від швидкості, манери водіння, клімату (температури), дорожніх умов, стану акумуляторної батареї. За статистикою середньодобовий пробіг автомобіля у місті десь 50 км, що відповідає можливостям електромобіля.

## 2. Швидкість і прискорення електромобілів менше, ніж в автомобілів з ДВЗ.

Модель	Ford Ranger EV	Toyota RAV4 EV	Chevrolet S 10 EV	GM EV1	Москвич 412 EV1	ВАЗ 1111з
Тип	Пікап	4-місний пасажирський	Пікап	2-місний пасажирський	4-місний пасажирський	4-місний пасажирський
Маса знядження	2000кг	1500 кг	1900 кг	1300 кг	1280 кг	1140 кг
Двигун	3-ох фазний , 90 л.с.	Безконтактний постійного струму 45 кВт	3-ох фазний 114 л.с.	Змінного струму 137 л.с.	Колекторний, Постійного струму потужність 14 кВт.	Постійного струму незалежного збудження
Акумулятор	Свинцево-кислотний 312В. 23кВт - год	Нікель-металгідридний 300 В.	Свинцево-кислотний 312В. 16,2 кВт-год	Свинцево-кислотний 312 В. 16,2 к Вт.-год.	Свинцево-кислотний 108В. 125 А- год.	Нікель-кадмієвий 135В. 90 або 120 А- год.
Зарядний пристрій	Бортовий, без гальванічної розрядки 4.16 кВт-год час зарядки 8 год.	Бортовий, без гальванічної розрядки 12кВт-год , час зарядки 6-8 год	Стационарне, 3 гальванічною розрядкою . 6.6 кВт-год, час зарядки 2,5 год.	Стационарне, 3 гальванічною розрядкою . 6.6 кВт-год, час зарядки 3 год.	Бортове, однофазне, мережа 220В час зарядки 8 год.	Бортове, однофазне, мережа 220В час зарядки 8 год.
Розгін	12,3 сек до 80 км/год	13,3 сек до 80 км/год	10,35 сек до 80 км/год	6,7 сек до 80 км/год	15 сек до 60 км/год	14 сек до 100 км/год
Пробіг до підзарядки на швидкості : 96.5 км/год 72.4 км/год	104.8 км 139,8 км	88 км 131,5 км	62.6 км 217.6 км	143 км 217,6 км	100 км 3 грузом 400 кг 80 км	100 км в місті

Для руху по шосе це дуже важливо. Гоночні електромобілі короткий час здатні розвинути швидкість більш 200 км/год. На серійних електромобілях виробники

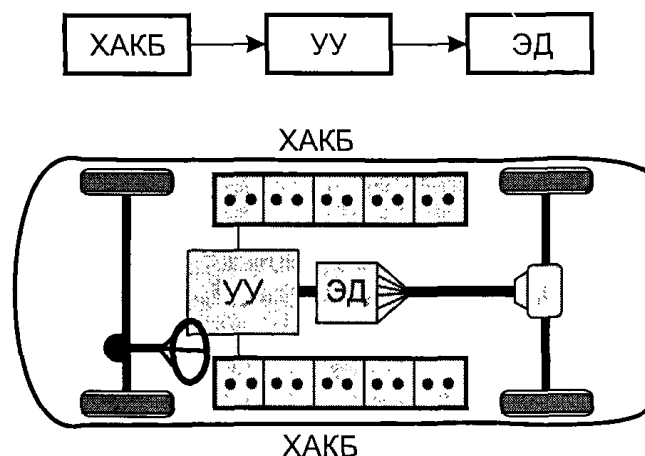
обмежують швидкість до 120 км/год. Здебільшого електромобілі відповідають вимогам для водіння в межах міста. Прискорення при рушанні з місця у електромобілів така ж, як в автомобілів з ДВЗ. Прискорення у електромобілів на високих швидкостях (більше 110 км/год) і рух вгору менший, ніж в автомобілів з ДВЗ.

4. Як наслідок, в електромобілі є чимало дорогих електроконтактних і мікропроцесорних систем, ціна для придбання електромобіля значно вища, ніж в звичайного автомобіля з ДВЗ. Наприклад, електромобіль Toyota RAV4 стоїть майже \$50 тисяч на японському ринку, тоді як звичайний автомобільний варіант — лише \$20 тисяч. Фірма Chrysler Corp. ще 1993 року випустила міні-вен вартістю \$120 тисяч, протягом трьох років вдалося продати лише 51 машину. Вітчизняний ВАЗ 1111е (ЕлектроОка) стоїть \$18 тисяч, тоді як звичайна Ока — \$3 тисячі. Не в усьому електромобіль програє автомобілю.

1. Очікувані експлуатаційні витрати у електромобіля мають бути нищі, ніж в автомобіля з ДВЗ. Наприклад, невеличкий автомобіль із ДВЗ обсягом 1,2 літра і ручною коробкою перемикання передач на легкому паливі вартістю 1 долар проїжджає близько 50 км. Електромобіль при тарифі на електроенергію 12 центів за 1 кВт годину (для США) проїжджає за 1 долар 120 км. Цей оптимістичний розрахунок приведено у Американських ЗМІ. Справді, тарифи па електроенергію в США до 2001 року було щодо низькими: загалом для населенню 8,4 цента за 1 кВт • годину, для комерційних організацій — 7,7 центи; для промислових підприємств — 4,8 центи. У Каліфорнії тариф для населення є вищим — 12 центів за 1 кВт годину, та як місцева влада у боротьбі за екологію не дозволяла будувати нові електростанції, воліючи імпортувати електроенергію з регіонів. Починаючи з 2001 року й до нашого часу американські тарифи на електроенергію розширилися більш ніж учетверо. Експлуатація електромобілів подорожчала. Але й бензин подорожчав. Отож пропорції експлуатаційних витрат не змінюються. 2.. Акумуляторна батарея — єдиний проблемний елемент електромобіля, так як потребує інтенсивного обслуговування й заміни кожні 4—5 років.

### 10.3 Вузли, агрегати і системи електромобіля

#### 10.3.1 Класична схема



**Рисунок 10.1 - Класична схема електромобіля:**

ХАКБ — ходова акумуляторна батарея;

ПУ — електронний пристрій управління (контролер);

ЕД — ходовий електродвигун

Класична схема електромобіля показана на рисунку 10,1 а. Схема включає високовольтну ходову батарею ХАКБ, електродвигун ЕД і пристрій управління ПУ (контролер), яке управляє енергією ходової АКБ у її подачі до електродвигуна ЕД. Спочатку вважалося, що такий електромобіль гранично простий і вся проблема зведеться до розробки нових конструкцій ходової АКБ і електродвигуна ЕД. Але у триланковій моделі складним виявилось створити пристрій управління ПУ. З іншого боку, було зовсім зрозуміло, від чого і де можна буде підзаряджати ХАКБ. Стали також піддавати критичному аналізу, найголовніша перевага електромобілів перед автомобілями — екологічна. Спочатку як аксіома було винесено припущення, що електромобіль абсолютно чистий транспортний засіб, на кшталт тролейбуса без дротів. Проте ходові батареї та станції їх обслуговування самі по собі можуть стати джерелами отрутного забруднення довкілля. Неважко собі уявити, що буде із Москвою, коли хоча кожний третій з 3 мільйонів столичних автомобілів стане електромобілем. У середньому 20 тисяч тонн сірно-кислотного електроліту будуть кататися по московських вулицях. До цього слід додати, що щоденна підзарядка ХАКБ для одного мільйона електромобілів вимагає від Мосенерго додаткової електроенергії стільки ж, скільки воно виробляє. Нині ведеться ряд наукових розробок по напрямі пошуку нових хімічних джерел струму (ХДС). Випробувані на електромобілях і лужні акумулятори, і сонячні батареї, і паливні елементи. Паливні елементи — це одноразові хімічні джерела струму (ХДС), які працюють за принципом перетворення енергії високотемпературної хімічної реакції у електричну енергію. Мають малі габаритами і вагу, інтенсивної струмовіддачу, але нетривалі дію. Широко застосовують у спеціальній військовій апаратурі. Для електромобілів можуть стати перспективними лужні повітря-алюмінієві паливні елементи, у яких «вигорає» листовий алюміній і можна легко і швидко змінити реагенти. Такий паливний елемент може бути багаторазовим. Проте застосовність їх у електромобілях обмежена високою вартістю каталізаторів, які входять до складу повітря-алюмінієвих ХДС, і складністю реалізації багатократних зупинок хімічної реакції на недовгий час (стоянковий режим електромобіля).

Проте з використанням перелічених джерел струму досягти для електромобіля рівня технічних показників автомобіля-прототипа доки не вдається.

### 10.3.2 Компоненти сучасного електромобіля

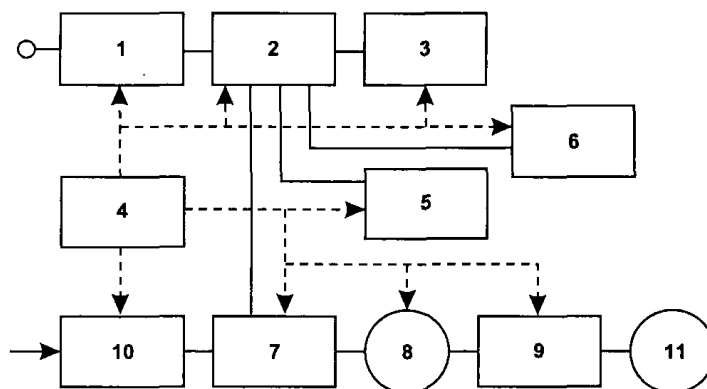


Рисунок 10.1, б. Блок-схема сучасного електромобіля

На малюнку позначений:

1. Зарядний пристрій. Перетворює змінну напругу зовнішньої мережі в постійну для заряду акумуляторних батарей, тягової і допоміжної.
2. Пристрій захисту (блок реле і запобіжники). Він складається з вимикачів, реле, запобіжників, включених між акумуляторною батареєю й іншою електричною схемою — споживачами. У разі несправності ланцюг змінного струму і акумулятори відключаються.
3. Тягова акумуляторна батарея. Забезпечує енергією двигуна електромобіля.
4. Бортовий комп'ютер. Контролює стан основних функціональних компонентів і бортових систем електромобіля. За необхідності ініціює ресурси захисту.
5. Додаткове джерело електроенергії (зазвичай допоміжна акумуляторна батарея на 12 В). Забезпечує роботу освітлювальних приладів, панелі приладів, скло підйомників, склоочисників тощо.
6. Система клімат-контролю салону. Вона складається з кондиціонера і електроопалювача.
7. Електронний контролер електродвигуна. Формує необхідний вид напруги живлення. Керує числом зворотів і тяговим моментом на валу за командами шофера або автоматично.
8. Електродвигун. Наводить в рух колеса електромобіля безпосередньо чи опосередковано через трансмісію. Застосовуються електродвигуни постійного і перемінного струму, і навіть мотор-колеса.
9. Механічна трансмісія. Вона складається з коробки передач, диференціала та інших механічних пристроїв задля забезпечення руху електромобіля.
10. Водійські органи управління електромобілем.
11. Рушії (колеса) електромобіля.

## **10.4 Зарядні і захисні пристрої**

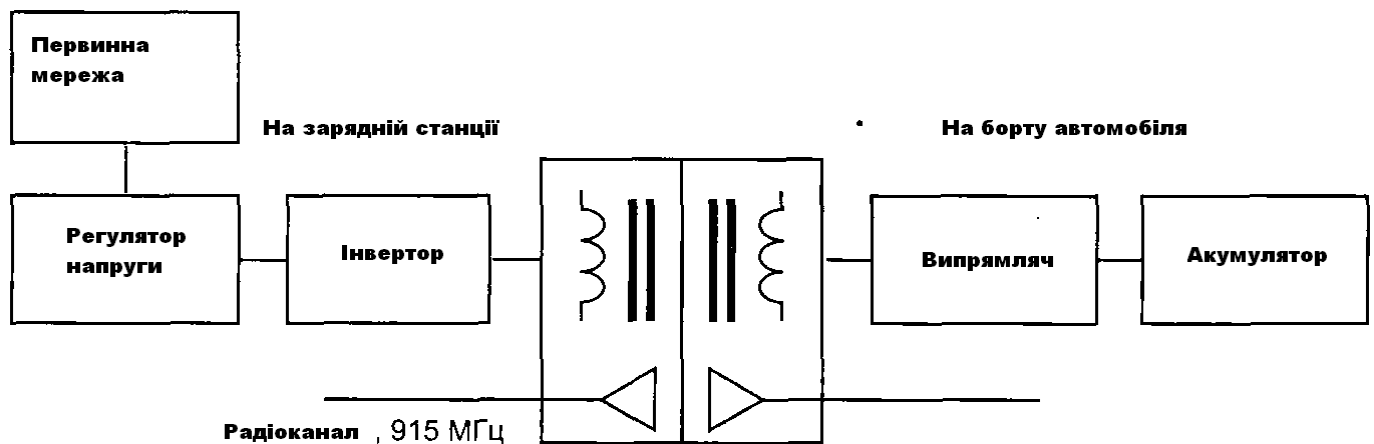
### **10.4.1 Зарядні пристрої**

Батареї електромобілів можуть бути заряджені повільно за 8...10 годин вночі, коли міські електричні мережі мало завантажені, чи швидко на спеціальних зарядних станціях (СЗС) за 15...30 хвилин струмом у кількасот ампер. Сьогодні освоєно три технології заряду акумуляторних батарей електромобілів:

1. Технологія 1-го рівня (стандартний заряд). Акумулятор заряджається від стандартної побутової мережі (110В для США) струмом 6... 12 А На протязі 15...20 годин. Сполучна розетка мусить бути надійно підключена і заземлена.
2. Технологія 2-го рівня (швидкий заряд). Акумулятор заряджається від однофазної побутової мережі струмом близько тридцяти 30 А 3...10 годин. Розетки встановлюються у приватних гаражах чи громадських автостоянках. До аналогічної мережі підключаються потужні побутові пристрої типу електросушки чи електроплит.
3. Технологія 3-го рівня (прискорений чи форсований заряд). Акумулятор заряджається від трьохфазної мережі струмом 400 А 15...20 хвилин. Стандартні зарядні пристрої споживають потужність 160...200 кВт їх потрібно розміщувати на спеціальних зарядних станціях. Зарядний пристрій містить підключення до мережі змінного струму, ректифікатор, регулятор зарядного струму (напруги), систему управління зарядом (зазвичай мікропроцесорну) контролю за рівнем заряду, параметри батареї, відключення у разі виникнення аварійної ситуації. Зарядний пристрій може розміщатися на борту

електромобіля. Бортовий комп'ютер управляє процесом заряду, а мережа змінного струму підключається до електромобілів. Це притаманно пристроям 1-го рівня живлення та пристроям 2-го рівня з безпосереднім підключенням. Стационарний зарядний пристрій монтується в настінному шкафу чи стенді. Регульована постійна напруга подається безпосередньо на акумулятори електромобіля. Це притаманно технології третього рівня. У гібридних системах електромобіль може підключатися до мережі змінного струму або до стационарних зарядних пристроїв. За безпосереднього підключення зарядний пристрій приєднується до електромобілів власним кабелем чи кабелем електромобіля із сильним струмовим розніманням в металевому захисному корпусі. Металева роз'язка приблизно таке саме, як для зовнішніх побутових приладів. Найвища вимога: високий рівень захисту, здатність витримувати неправильне підключення і вандалізм. Будь-яка несправність роз'язки визначається системою захисту, яка відключається у цьому випадку напруга.

При підключенні з гальванічної розв'язки використовується магнітний зв'язок між обмотками спеціального високоточного трансформатора, первинна обмотка якого розміщена на зарядній станції (зарядної колонці), а вторинна — на електромобілі. При передачі енергії відстань між частинами трансформатора забезпечується мінімальним для хорошого індуктивного зв'язку обмоток (рисунок 10.2).



**Рисунок 10.2 - Підключення з гальванічною розв'язкою**

У зарядному пристрої напруга мережі змінного струму промислової частоти 50/60 гц випростується і фільтрується. Потім постійна напруга перетворюється в інверторі на перемінну підвищеної частоти. Підвищення частоти в інверторі до 25...40 кГц дозволяє зменшити массогабарити трансформатора і витрати міді в обмотках. Регулювання енергії виробляється у інверторі чи випрямлячі. Змінна напруга підвищеної частоти випрямляється вже на борту електромобіля і подається на акумуляторну батарею для заряду. Підключення з гальванічною розв'язкою можна використовувати щодо різноманітних режимів заряду. Наприклад, електромобіль Chevrolet P.S 10 випускається з бортовим зарядним пристроєм потужністю 6,6 кВт з індуктивною розв'язкою і часом заряду 2,5...3 години від однофазної мережі. Для прискорення заряду використовується трифазна мережа, у якій споживається потужність 150... 160 кВт. Зарядний пристрій зазвичай контролює ступінь заряду акумуляторної батареї і індукує час до закінчення заряду. Користувач вставляє термінал стационарного зарядного влаштування у спеціальний приймач на борту електромобіля. Після закінчення заряду термінал автоматично виштовхується з приймача. Система управляється мікропроцесорами по

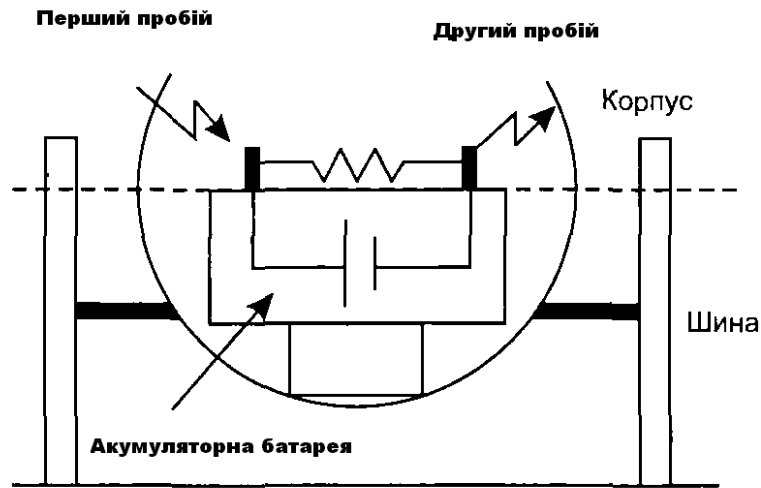
обидва боки. Службовий зв'язок виробляється через радіоканал в 915 МГц. Є конструкції, де електромобіль наїжджає на шафу зарядного пристрою в такий спосіб, щоб первинна (стаціонарна) обмотка і вторинна (автомобілем) виявилися індуктивно пов'язаними. Основною зручністю такої системи є гальванічний зв'язок електромобіля з допомогою електричної мережі, це підвищує електробезпеку. Основним елементом будь-якого бортового зарядного пристрою є керований ректифікатор, регулюючий напругу на акумуляторній батареї при заряді. У найпростішому випадку це однофазна тиристорна схема з фазним управлінням. Трансформатор підвищує мережну напругу (110 В чи 220 В) до необхідного рівня. Зазвичай, перетворювальна частина зарядного пристрою застосовується також як контролер який керує тяговим електродвигуном. Крім тиристорів як комутувальних елементів використовуються силові польові чи біполярні транзистори.

Зарядні станції зазвичай добре захищені. Мікропроцесори контролюють струм і непередбачуване напруження заряду. Що стосується перевантажень по струму, замикань, несправності заземлення та інших аварійних ситуацій постачання електроенергії припиняється, користувач інформується про несправності. Громадські зарядні станції є потужними споживачами електроенергії. Там для підвищення коефіцієнта потужності застосовуються спеціальні коригувальні електронні ланцюги для компенсації втрат у індуктивних реактивностях преобразованих каскадів.

#### **10.4.2 Захисні пристрої**

Акумулятори, електричні ланцюги й бортові споживачі електромобіля мають бути захищені. Замикання в електропроводці електромобіля веде до розряду акумуляторної батареї. Під час несправності енергія акумуляторної батареї перетворюється на тепло, дроти під великим струмом можуть розплавитися. Замикання в мережі постійного струму можуть призвести до виникнення електричної дуги як наслідок, — до пожежі. Генерація тепла і дугового розряду небезпечна для життя людини. У багатьох електромобілів напруга тягової акумуляторної батареї близько 300В. За такого рівня напруги можливі електротравми, від яких водій і пасажир мають бути захищені навіть у суху погоду. У електромобілях металеві частини корпусу не використовують як провідника (маси), вся електропроводка ізолювана від корпусу, колісні покриття (шини) ізолюють корпус від дороги. Порушення ізоляції між електричним ланцюгом і корпусом лише у 1 точці не призводить до появи значних струмів, здатних розрядити акумулятори. Пробій на другій точці дає підстави замикання акумуляторної батареї і дуже небезпечний для користувача. Ймовірний сценарій появи коротких замикань:

- проводять відкладення з акумуляторів створюють перший контакт з корпусом чи іншими металевими частинами;
- тертя дротів об корпус може пошкодити їх ізоляцію і буде створено другий контакт, що веде до короткого замикання. На рисунку 10.3 показані можливі варіанти виникнення замикання на електромобілі. Конче важливо знайти перше порушення ізоляції. І тому використовують чутливі системи виміру струмів витoku (менш 0,01 мА), аналогічні тим, що встановлюються у сучасних ванних кімнатах і душових.



**Рисунок 10.3 - Варіанти виникнення замикань**

Друге порушення ізоляції веде до короткого замикання, ланцюг якого має бути розірвано протягом кількох мілісекунд задля унеможливлення розряду акумулятора. І тому застосовують електромагнітні і електронні швидкодіючі контактори, запобіжники.

При експлуатації електромобілів у важких умовах (сніг, бруд, тривалий підйом) перевантажуються і перегріваються акумулятори, тяговий електродвигун, електропроводка. Перегрівання скорочує термін служби цих систем. Електропровідні пристрої мають вмонтовану напівпровідникову систему захисту від перевантажень, але крім запобігання виходу з експлуатації дорогого устаткування використовуються додаткові захисні пристрої у формі запобіжників і автоматів. До того ж для безпечної експлуатації електромобілів застосовуються різні апаратні чи програмні блокування. Наприклад, коли термінал зарядного пристрою вставлено до приймача електромобіля, заблоковано включення тягового двигуна. Під час заряду заблоковано включення системи управління кліматом салону.

### **10.5 Електродвигуни і привідні системи електромобіля**

Спочатку електромобілі оснащували звичайними електродвигунами постійного чи змінного струму. Сьогодні на електромобілях використовують у основному спеціальні електродвигуни змінного струму. До таких електродвигунів пред'являються вимоги високої ефективності при сталості тягових характеристик, потреби у періодичному техобслуговуванні, здібності витримувати перевантаження і забруднення.

#### **10.5.1 Двигуни змінного струму**

Використовуються трифазні асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором. Обороти двигуна регулюються з допомогою контролера змінної частоти живлення напруги. Така конструкція практично не вимагає обслуговування. ККД електродвигуна залежить від кількості оборотів ротора. Наприклад, двигун потужністю 7 кВт має ККД 97% при 6000 об./хв і 82% при 1500 об./хв, максимальна кількість оборотів — 15000 об./хв. Момент на валу змінюється при комутації обмоток статора з трикутника на зірку і навпаки. При поєднанні обмоток статора в трикутник двигун розвиває великі оберти, що необхідно під час руху по шосе, при поєднанні в зірку збільшується момент на валу — це потрібно при прискоренні чи під час руху на підйом. Перемикання обмоток зірка — трикутник аналогічно переключенню швидкостей в коробці передач. Сучасний трифазний двигун електромобіля GM EV1 розвиває потужність 137 к.с. в діапазоні 7000...13000 об./хв, має момент на валу 50 н · метрів в діапазоні 0...7000 об./хв.



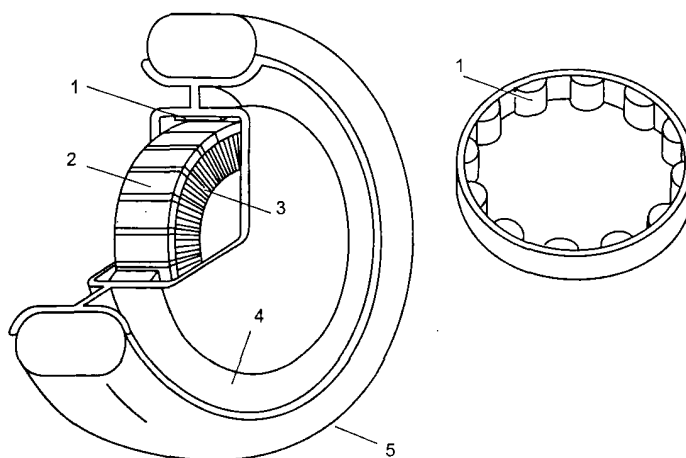
### 10.5.2 Електродвигуни постійного струму

Поруч із трифазним асинхронним двигуном на сучасних електромобілях використовуються електродвигуни постійного струму з послідовним порушенням, які мають хороші швидкісні і тягові характеристики. Обороти електродвигуна постійного струму пропорційні напрузі харчування, що спрощує управління. ККД електродвигунів постійного струму нижче, ніж в двигунів змінного струму, конструкція їх важча, вони потребують регулярного обслуговування, чутливіші до перевантажень, максимальні оберти нижчі.

На електромобілях з двигунами постійного струму встановлюють багато швидкісні механічні коробки передач. У двигунах постійного струму, використовуваних на електромобілях, обмотки порушення та ротора включені послідовно. При рушанні момент на валу такого двигуна великий, але зменшується зі зростанням оборотів. Така характеристика задовільна для їзди по місту, але малоприсадаблена для руху по шосе. Зміна смуги вимагатиме руху під прискоренням, якого електродвигун забезпечити неспроможний. Тому на згадуваних деяких електромобілях використовуються електродвигуни зі змішаним (послідовно-паралельним) включенням обмоток порушення. Ефективність двигунів постійного струму зростає при заміні електрично збудженого статора постійними магнітами. Дорогі постійні магніти створюють сильніше магнітне поле, ніж обмотки статора, двигуни мають менші габарити й масу. Двигуни постійного струму для електромобілів використовуються обмежено і звичайно невеликими автоскладальними підприємствами.

### 10.5.3 Бісколекторні електродвигуни постійного струму

Такі електродвигуни складаються з ротора з урахуванням постійних магнітів й трьох чи чотирьох секційних обмоток на статорі. Електронний комутатор по черзі збуджує секції обмотки і щоб магнітне полі постійно приводило в рух ротор з магнітами. Позиція ротора визначається системою управління з допомогою датчика. Перевагою такого електродвигуна є стираючі щітки, іскріння в колекторі, ефективність і надійність вище, ніж в звичайних електродвигунів постійного струму. Недолік — значне зростання вартості. Безколекторні електродвигуни постійного струму особливо ефективні при їзді із високим постійною швидкістю, тому більшість гоночних електромобілів оснащені саме такими двигунами.



**Рисунок 10.4. Мотор-колесо з урахуванням безколекторного електродвигуна постійного струму:**

1 — ротор з набором постійних магнітів,

- 2 — статор,
- 3 — статорна обмотка,
- 4 — обод колеса,
- 5 — шина

Електродвигуни на електромобілях під'єднанні до коліс через механічні коробки перемикачів передач, іноді безпосередньо. На рисунку 10.4 показано розміщення безколекторного тягового електродвигуна постійного струму у колесі, розробка компанії Tokyo Electric Power Company. Таку конструкцію називають мотор-колесом. У обод колеса вмонтовано кільце із постійних магнітів з урахуванням кобальту — самарію. Обмотки збудження статора пов'язані з віссю колеса. Експериментальний автомобіль мав привід всіх чотирьох коліс. Відсутність механічної передачі зробило управління двигунами занадто складним. Серійна модель Toyota RAV4-EV наводиться в рух безконтактним електродвигуном постійного струму з напругою живлення 288 В, потужністю 45 кВт буде в діапазоні 2600...2800 об./хв. Передні колеса провідні, використовується високошвидкісна коробка передач.

#### 10.5.4 Електроприводні системи

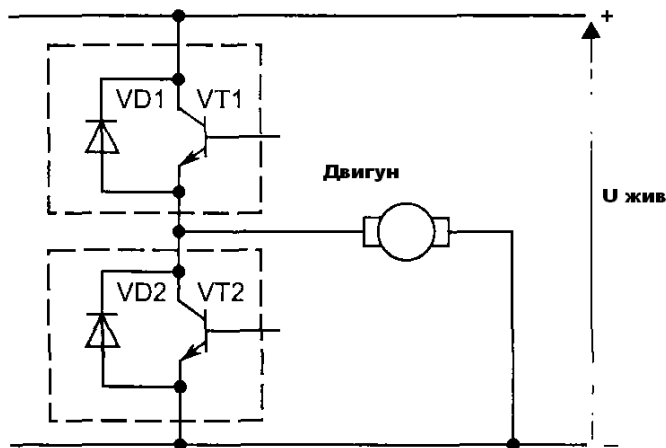
Схеми управління тяговими електродвигунами регулюють обороти і момент на валу, обмежують максимальний струм. Використовуються електроприводи постійного і перемінного струму. Принаймні після появи нових електронних компонентів змінюється технологія приводу, виробники електромобілів експериментують з різними схемами, домагаючись максимальної ефективності. Найвища вимога:

- плавне регулювання числа оборотів в усьому діапазоні;
- високий ККД;
- можливість рекуперації під час гальмування;
- захист від переагрузок перенесених від перегріву;
- високий момент на старті;

• можливість реверсу. У приводах постійного струму використовуються традиційні колекторні електродвигуни з послідовним порушенням. Обороти регулюються з допомогою імпульсних перетворювачів постійної напруги. У безколекторних двигунах постійного струму потреба у обслуговуванні значно зменшена, вони конкурують із двигунами змінного струму. Двигуни змінного струму недорогі, майже не потребують обслуговування, краще, ніж двигуни постійного струму, підходять до масового виробництва. Для їх управління потрібні складні трифазні інвертори, які формують напругу перемінної частоти. Останні досягнення у галузі силової електроніки здешевлюють електропривод змінного струму.

#### 10.5.5 Електропривод постійного струму

Схема показана на рисунку 10.5. Обороти електродвигуна регулюються величиною подаваної напруги. Ключі польові чи біполярні, для шунтування реактивних струмів зустрічно-паралельно транзисторів включені вентиля. Ключ VT регулює середню напругу на клеммах двигуна. Коли VT замкнений, напруга  $U_m$  акумуляторної батареї подається в двигун, коли VT, розімкнений, реактивний струм замикається через вентиль VD2. Середнє значення напруги на клеммах двигуна пропорційно коефіцієнту шпаруватості (відношення часу замкнутого стану транзистора VT до періода) перетворювача напруги на транзисторі VTХ. У режимі рекуперативного гальмування ключ VT, розімкнений. Електродвигун працює як генератор і подає зарядний струм в акумулятор через вентиль VDt. 218



**Рисунок 10.5 - Схема підключення двигуна постійного струму**

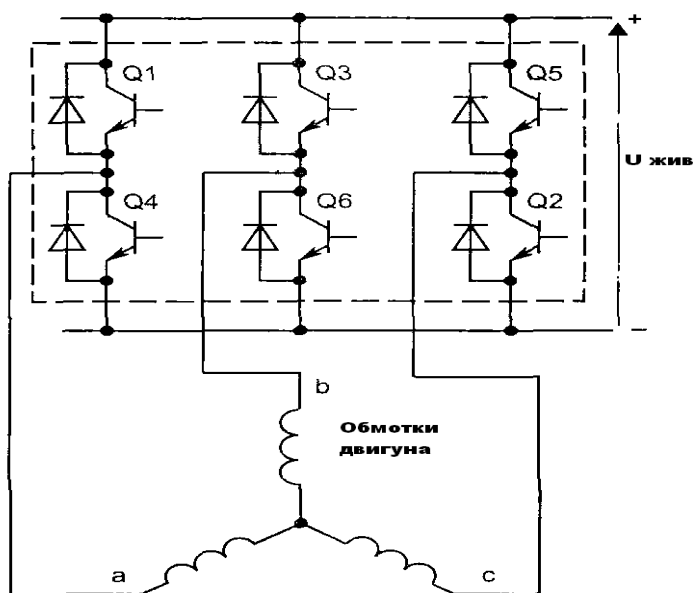
Зарядний струм регулюється коефіцієнтом шпаруватості перетворювача постійної напруги на транзисторі  $V1$ .

### 10.5.6 Прихід безколекторних двигунів постійного струму

Це одне з досягнень сучасної силової електроніки. На роторі електричної машини розміщені постійні магніти, на статорі — обмотки. Для обертання ротора обмотки по черзі підключаються до джерела живлення електронним комутатором. Є датчик визначення кутового положення ротора. Обмотки статора можуть підключатися до шин живлення різною полярністю, ніж досягається реверс. Комутуючі транзистори захищені зворотними діодами.

### 10.5.7 Електропривод змінного струму

Використовуються трифазні асинхронні електродвигуни. Для управління оборотами і моментом на валу застосовуються трифазні інвертори із регульованою частотою і широтноімпульсною модуляцією. На риунку 10.6 показана схема підключення електродвигуна до інвертора. Інвертор складається з трьох паралельних гілок із двома послідовними ключами у кожному.



**Рисунок 10.6 - Схема підключення електродвигуна змінного струму**

Ключі комутуються в такій послідовності: 123, 234, 345, 456, 561, 612, 123... При такому алгоритму роботи інвертора напруги на його виходах прямокутні і регулювання струму двигуна відсутнє. Для регулювання струму використовується широтно-імпульсна модуляція. Синусоїдний сигнал на частоті основної гармоніки порівнюється зі високочастотним розгортаючим сигналом трикутної форми. Кожен ключ під час своєї яка провідного стану (не більше інтервалу в  $180^\circ$ ) відкривається кілька разів, коли напруга розгорнення перевищує напругу синусоїди. Обмотка двигуна виконує роль низькочастотного фільтра, і струм у ній стає близькими до синусоїдального із регульованою амплітудою. ККД приводів змінного струму для електромобілів становить 85...91%, вони добре працюють під час руху електромобіля містом.

### **10.5.8 Напівпровідникові ключові пристрої**

Основним елементом в привід постійного чи змінного струму є напівпровідниковий ключовий пристрій. Для електромобілів з двигунами потужністю 40...45 кВт та багато швидкісною коробкою перемикачів передач ключ повинен працювати у напругах до 200 В і токах до 250 А. Щодо одношвидкісної коробки передач — до 400...600 В і 400...500 А. Ключові елементи в електроприводах працюють на частотах 10...20 кГц. Підвищена частота комутації зменшує шум в звуковому діапазоні, але збільшує комутаційні втрати, випромінювання електромагнітних перешкод. Бажано мати час перемикачів ключа менш 1 мкс. В якості ключових елементів на електромобілях використовуються різні електронні пристрої:

- Тиристри давно застосовують у приводах, витримують великі струми і напруження, мають низьке напруження у відкритому стані. Не відключаються по ланцюгу управління, їх відключення на постійному струмі вимагає наявності складних додаткових електричних схем.

- Замикаючі тиристри відключаються по ланцюгу управління, але працюють у вузькому частотному діапазоні 1...5 кГц, напруження у відкритому стані більше, ніж в звичайних тиристорів. Енергія, подана в ланцюг управління, також більше, що підвищує втрати потужності.

- Біполярні транзистори працюють у широкому діапазоні частот, струмів і напруг. Зазвичай використовуються як транзисторні модулі збільшення коефіцієнта посилення по напрузі. У приводах сучасних електромобілів найчастіше використовують саме біполярні транзистори.

- Потужні польові транзистори (MOSFET) управляються напругою, а не струмом, як біполярні транзистори чи тиристри, це спрощує ланцюг управління. Працюють в широкому діапазоні частот. Недоліки: велика напруга насичення і чутливість до перегріву.

- Біполярні транзистори з ізольованим затвором (БТІЗ — IGBT) — це біполярні транзистори з польовими транзисторами у ланцюгу управління. Управляються напругою. Напруга насичення вища, ніж в звичайних транзисторних модулів. Поєднання широкого діапазону робочих частот, струмів, напруг із можливістю управління напругою робить БТІЗ перспективними до застосування на електромобілях. Проте їхня вартість поки що досить висока.

- Тиристри з ланцюгами управління на польових транзисторах (MCT — MOS Controlled Thyristor). MCT-тиристор включається і відключається по ланцюгу управління напругою.

Має широкий діапазон частот, струмів і напруг, перспективний до застосування на

електромобілях.

У таблиці 10.2 наведено параметри ключових пристроїв, застосовуваних в електроприводах на електромобілях.

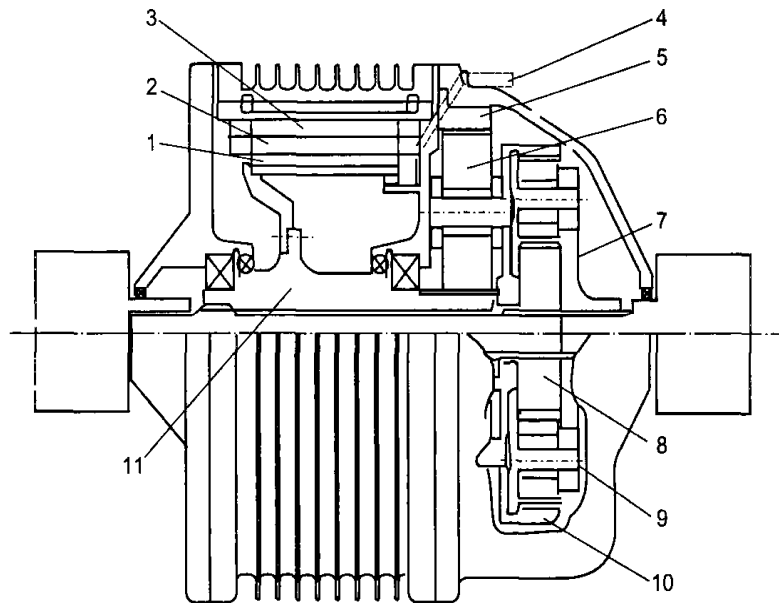
	Біполярні транзистори	Польові транзистори	БТІЗ	МСТ - транзистори
Робочий діапазон	1200 В, 800А	500 В, 50А	1200В, 400А	600 В, 60А
Чим керується	Струмом	напругою	напругою	напругою
Напруга на відкритому ключі, (В)	1,9	3,2	3,2...1,7	1,1
Частота	10	100	20...40	20
$di/dt$ , (А/макс)	100	Велике значення	Велике значення	1000
Час включення	1,7 мкс	90 нС	0,9мкс	1,0 мкс
Час виключення	5 мкс	0,14 мкс	200 нс...1,4 мкс	2,1 мкс

### 10.5.9 Коробки перемикання передач для електромобілів

На електромобілях використовуються коробки перемикання передач (КПП), приблизно такі ж, як у автомобілях з ДВЗ. Ефективність приводу електромобілів залежить від оборотів. Двигун змінного струму зазвичай має ККД щонайменше 80% в діапазоні 2000...12000 об./хв, двигун постійного струму з послідовним збудженням — 70% в діапазоні 2000...5000 об./хв. Безколекторний двигун постійного струму має ККД більше 85% в діапазоні 3000...8000 об./хв. Більшість конструкцій електродвигунів мають постійний момент на валу в діапазоні від 0 до 4000...5000 об./хв, при більш високих оборотах момент падає. Це означає, що при швидкостях 65...105 км/год електромобіль погано пришвидшується, на своєму шляху по шосе це небезпечно. Наведені приклади показують, що для ефективнішої роботи електродвигун повинен мати оберти більші за 2000...3000 на хвилину, з іншого боку, колесо автомобіля зі швидкістю 105 км/год робить лише 500 обертів на хвилину. Саме тому, попри електронне врядування приводом, більшість електромобілів мають механічні коробки перемикання передач з діапазоном передатних відносин 4:1...8:1. У електромобілях з КПП використовується звичайна автомобільна технологія, коли провідні колеса поєднано з аналітичними валом двигуна через диференціал і ручну чи автоматичну коробку передач. У багатьох електромобілях, перероблених зі звичайних автомобілів, замість ДВЗ встановлюється електродвигун, коробка передач не змінюється. Проте багатошвидкісні коробки передач встановлюють і на конструктивних (не перероблених) електромобілях. Наприклад, електромобіль Fiat Panda Electric з двигуном 9,2 кВт має ручну коробку передач з чотирма передніми та однією задньою швидкістю.

Багато швидкісні КПП встановлюються з електродвигунами постійного струму з послідовним порушенням, мають задовільний ККД у досить вузькому діапазоні оборотів. Коробка перемикання передач у разі дозволяє краще узгодити характеристики електродвигуна з дорожніми умовами. Одношвидкісні КПП застосовуються з електродвигунами, ефективно які працюють у широкому діапазоні оборотів (наприклад, двигуни змінного струму). І тут за погодженням характеристик двигуна з дорожніми умовами буде достатньо однієї понижуючої передачі. На автомобілях, спочатку спроектованих як електромобілі, застосовуються лише такі передачі. Наприклад, на моделі Ford Ranger EV трифазний електродвигун вмонтований у передній провідний міст. На рисунку 10.7 показаний безколекторний двигун постійного струму з

максимальною кількістю оборотів 7500 об./хв, вмонтований на провідний міст, з передаточним ставленням 7,5:1.



**Рисунок 10.7 - Ведучий міст з умонтованим електродвигуном.**

- 1 — постійний магніт,
- 2 — статор,
- 3 — магнітний ланцюг,
- 4 — електричні дроти,
- 5 — коронна шестірня,
- 6 — планетарна передача,
- 7 — планетарний диференціал,
- 8 — вихід диференціала на ліве колесо,
- 9 — вихід на праве колесо,
- 10 — вхід диференціала,
- 11 — порожній вал

#### **10.5.10 Безпосередній привід**

У електромобілях бажано підключати колеса безпосередньо до електродвигуна без механічних передач, що спрощує механічну конструкцію. Але така схема вимагає складних алгоритмів управління і погіршуються їздові характеристики електромобіля. Типовий приклад реалізації приводу «мотор-колесо» наведено на рисунку

10.4. Характеристики безпосереднього приводу може бути поліпшено можливістю комутації обмоток трифазного двигуна з зірки в трикутник і навпаки, а колекторного двигуна постійного струму — перемиканням обмоток збудження, послідовної й незалежної.

#### **10.6 Тягові акумуляторні батареї**

Є дуже багато типів акумуляторів, придатних до застосування в тягових батареях на електромобілях, хоча більшість з них не повністю відповідає всім вимогам немає і чітких критерій вибору оптимального акумулятора. Недостатня ємність, великий час заряду, мала питома енергія акумуляторів обмежують багато років зусилля конструкторів електромобілів. Свинцево-кислотні акумулятори, найдешевші і найчастіше застосовувані, лише трохи удосконалені з появою першого електромобіля. Застосовуються також нікель-кадмієві і нікель-металгідридні акумулятори з більшою щільністю енергії, але вони набагато дорожчі свинцевих.

### 10.6.1 Вимоги до акумуляторів електромобілів

Акумулятори електромобілів повинні відповідати наступним вимогам: високі удільня енергія і потужність, високий ККД, велика кількість циклів «заряд-розряд», низька вартість, безпека, надійність, незначні видатки на технічне обслуговування, малий час заряду, відновлюваність матеріалів. Наявні сьогодні акумулятори відповідають більшості з цих вимог. Необхідна розробка акумулятора, відповідного якщо не по всім, то найбільшому числу з вище перерахованих вимог.

### 10.6.2 Характеристики акумуляторів

У таблиці 10.3 наведено характеристики основних типів акумуляторів, застосовуваних на електромобілях.

Питома потужність. Вимірюється в Вт/кг, показує, яку потужність здатний віддавати акумулятор при заданій вазі. Це показник здібності електромобіля прискорюватися та долати підйом.

• Питома енергія. Вимірюється в Вт\*час/кг. Це часто застосована характеристика акумуляторів. Визначається як енергозапас, та як енергія, що виділяється при розряді акумулятора на зовнішній ланцюг, яка припадає на одиницю ваги акумулятора. Чим вище питома енергія, тим більше пробіг електромобіля до перезарядки за однакової ваги акумуляторів.

Тип акумулятора	Питома потужність [Вт/кг]	Щільність енергії (Вт*год/дм <sup>3</sup> )	Питома енергія(Вт*год/кг)	Число циклів Заряд розряд	Вартість (\$ Квт/год)
Свинцево -кислотне	35...300	50...90	15...45	300...600	70...400
Залізо-нікелеве	70...130	60...100	35...60	400...1200	400...500
Нікель-кадмієве	100...200	60...100	30...60	1000...1500	500
Нікель-металгідридні	140...200	100...210	55...80	1000	150...800
Натрієва сірчані	90...120	75...100	80...120	250...500	300
Нікель-хлоридні	150	160	100	500	>1000
Літій іонні	100	100	150	300	>1000

• Щільність енергії. Вимірюється в Час/дм<sup>3</sup>, показує, скільки енергії запасується в акумуляторі на одиницю обсягу. Застосування батарей із високою щільністю енергії заощаджує місце у електромобілі зменшує його вагу.

• Кількість циклів «заряд-розряд» (ресурс). Характеризує довговічність акумулятора. Цикл окреслюється, як один повний 100-відсотковий заряд і розряд до 80% ємності.

• Вартість акумулятора на один кВт\*час запасуємої енергії.

### 10.6.3 Типи акумуляторів для тягових акумуляторних батарей

► Сьогодні на електромобілях найчастіше встановлюються свинцево-кислотні акумулятори. Великі зусилля затрачуються проектувальниками і виготовлювачами для їхнього вдосконалення. Удільня потужність (35...300 Вт/кг) і енергія (15...45 Вт\*час/кг) свинцевих акумуляторів невелика.

► Нікель-кадмієві акумулятори (Ni-Cd) випускаються широкої номенклатурою,

ємністю від 0,08 А-год до 1000 Агод. Їх гідності: термін експлуатації, хороші характеристики при низьких температурах, висока енергоємність, міцна конструкція, висока надійність. Недоліки: висока вартість і токсичність кадмію. При заряді Ni-Cd-акумулятор виділяє водень і кисень, доводиться передбачати вентиляцію секцій.

► Залізонікелеві акумулятори (Ni-Fe). Термін їх експлуатації значно більше, ніж в свинцевих, вони добре витримують механічні навантаження. Питома енергія (35...60 Вт • час/кг) і потужність (70... 130 Вт/кг) невеликі, вартість висока. Під час кожного заряду необхідно доливати воду, ці акумулятори випускаються лише обслуговуваними. Виділення водню при заряді робить проблематичним застосування Ni-Fe-акумуляторів на електромобілях. Конструкція Ni-Fe-акумуляторів добре відпрацьована, вони виробляються серійно переважно для залізничного транспорту.

► Нікель-металгідридні акумулятори (Ni-MH). Перспективні до застосування на електромобілях. Мають хороші удільні показники і хороший термін їхньої служби, але на сьогодні дорогі.

► Натрієво-сірчисті акумулятори (Na-S). В якості електрода використовується розплавлений натрій за нормальної температури 300 °С. Удільні показники високі — 80... 120 Вт\*ч/кг і 90... 120 Вт/кг. Перевагою Na-S-технології є малий саморозряд акумуляторів (кілька років). Це важливий показник для електромобілів, від яких потрібно забезпечення тривалого стану готовності транспортного засобу. Висока робоча температура, хімічно активні матеріали змушують застосовувати дорогі захищені конструкції Na-S-акумуляторів. Необхідність застосування нагрівачів і можливість затвердіння натрію під час простою — важливі недоліки Na-S-технології.

► Нікель-хлоридні акумулятори. Мають термін експлуатації, не обслуговуються. Зберігають працездатність на виході з ладу частини осередків, але дороги, вимагають підтримки температурного режиму. Знаходяться на стадії розробки.

► Акумулятори з урахуванням літію (літій-іонні, літій-полімерні тощо. буд.), перспективні для електромобілів, перебувають у стадії обговорення. Основна проблема — відвід тепла при заряді і розряді, і навіть трудомістка технологія виробництва.

#### **10.6.4 Перспективні джерела енергії для електромобілів**

► Літій-іонні сульфідні акумулятори працюють за температур 400...500 °С. Чи забезпечують високу щільність струму, термін експлуатації невеличкий.

► Літій-полімерні акумулятори мають високу питому міць і низьку вартість. Напруга на затисках акумулятора залежить від ступеня розряду. Знаходяться на стадії розробки.

► Рідкі паливні елементи. Їх застосування замість акумуляторів вважається перспективним. У паливних елементах хімічна енергія палива перетворюється на електричну з допомогою електрохімічного процесу. Рідкий природний газ перетворюється на водень в паливному процесорі. Водень подається в паливні елементи, де і виробляється електрика. Хімічну енергію палива використовують у паливних елементах зі значно більшим ККД, ніж у ДВЗ. Побічними продуктами роботи паливних елементів є вода, невеликі кількості CO<sub>2</sub>, CO і окислів азоту.

► Є варіанти, коли замість газу у паливний процесор подається метанол чи автомобіль як паливо транспортує рідкий водень. Провідні автомобілебудівні компанії витрачають великі гроші на розробку енергетичних установок для електромобілів на основі паливних елементів. Раз у раз на виставках демонструються працездатні концептуальні електромобілі: DaimlerChrysler NF.CAR 5, Jeep Commander 2, GM



HydroGen I. Ford Focus FCV, Wolkswagen Bora HyMotion BA3-2131 ПЕ Лада — Антэл тощо. Сьогодні енергетична установка на основі паливних елементів коштує близько \$500 за кВт, двигун електромобіля обійдеться приблизно \$25000, звичайний ж бензиновий двигун коштує Україні близько \$3500.

► Інерційні маховики використовують як нагромаджувачі механічної енергії. Характеризуються високої удільною потужністю і низькою удільною енергією.

► Конденсатори надвеликої ємності можливо знайдуть застосування на електромобілях як допоміжні електричні джерела із можливістю швидкого заряду і розряду. Найбільші виробники автомобілів в усьому світі витрачають чимало зусиль на вдосконалення акумуляторів. У таблиці 10.4 показано, який прогрес у кар'єрному зростанні характеристик акумуляторів повинен відбутися у найближчому майбутньому.

## **10.7 Допоміжні бортові системи електромобіля**

### **10.7.1 Система керування електромобілем**

У системи управління електромобілем можна назвати чотири основних частини: систему управління тяговим електродвигуном, педально керівні органи, ручні керівні органи, панель приладів. В усіх життєвих підсистемах використовуються мікроконтролери. Інформації про параметри, значення яких необхідні для роботи систем управління (струм, напруга, температура, швидкість тощо. буд.) з відповідних датчиків вводять у мікроконтролери. Мікроконтролери реалізують близькими до оптимального режиму управління виконавчими механізмами електромобіля і джерелами енергії, вживають заходів захисту у аварійних ситуаціях, постійно контролюють стан акумуляторної батареї, яке доводиться до водія, і пробіг до підзарядки.

### **10.7.2 Електромобільна система клімат-контролю**

Кондиціонер і опалювач споживають багато електроенергії. Наприклад, на електромобілі Ford Ecostar з тяговим двигуном потужністю 75 кВт опалювач споживає 5 кВт, кондиціонер 6 кВт, а при їзді по рівній дорозі по міському циклу тяговий двигун Ford Ecostar споживає лише вісім кВт. Користування кондиціонера чи опалювача істотно знижують пробіг до підзарядки. Автомобільний кондиціонер включається зазвичай за нормальної температури забортного повітря вище 35 °С. Усередині салону підтримується температура трохи більше 27 °С та відносна вологість 50%. Салон повинен постійно вентилюватися з розрахунку щонайменше 0,42 м<sup>3</sup> на хвилину на пасажера, що ще більше навантажує кондиціонер.

Для зменшення втрат енергії вікна салону при працюючому при кондиціонері би мало бути щільно закриті. Кондиціонери мають щодо низький ККД, їх використання істотно зменшує стандартний пробіг електромобіля. Робляться спроби розробити ефективніші системи. У перспективних системах кондиціонування компресор наводиться на дію безколекторним двигуном постійного струму із регульованим числом оборотів. Компресор стискує і нагріває охолоджувач, охолоджувач потім випаровується і охолоджується в випарнику, радіатор випарника охолоджує що надходить у салон повітря. Можливість регулювання оборотів компресора підвищує ефективність кондиціонера. Для зменшення навантаження на кондиціонер необхідні також тонування застосування кузову у властивому діапазоні оптичного спектра, хороша термоізоляція даху, охолодження салону на стоянках малопотужним (20 Вт) вентилятором. На сучасних електромобілях іноді застосовуються обігрівачі на рідкому паливі. Пробіг електромобіля не скорочується, але використання двох видів палива одним транспортним засобом нераціонально. Як джерела тепла можна використовувати спліт-системц. У крайньому

випадку можна включити і резистивний нагрівач, але це велика витрата енергії. Ефективність роботи тягових акумуляторів залежить від температури. Наприклад, при зниженій температурі ємність акумуляторної батареї зменшується. Акумулятори електромобілів забезпечуються спеціальними нагрівачами підтримки оптимальної температури. Наприклад, на електромобілі Chevrolet S10 1997 року спліт-система підтримує оптимальну температуру акумулятора в холодну і гарячу пору року.

### **10.7.3 Низьковольтні джерела живлення**

На електромобілях, як і автомобілях з ДВЗ, встановлено різне електрообладнання з живленням- від напруги 12 В — висвітлення, скло підйомники, аудіотехніка, прилади тощо. Масове виробництво цього устаткування добре налагоджено і немає необхідності його змінювати. Для живлення низьковольтного електроустаткування на електромобілях використовуються чи окремі 12 В акумулятори, які підключаються для заряду через перетворювач постійної напруги до високовольтної тягової батареї, чи електроживлення виробляється від перетворювача постійної напруги без буферного 12-вольтового акумулятора.

### **10.8 Інфраструктура**

Широке використання електромобілів має супроводжуватись створенням відповідної інфраструктури. Тут багато необхідно зробити виробникам електромобілів, торговим і сервісним організаціям, постачальникам електроенергії, електроустаткування, розробникам стандартів. Масове використання автомобілів з ДВЗ створило розгалуженої мережі доріг, заправні станції, системи виробництва та розподілу паливно-мастильних матеріалів, автосервісу тощо. Чимало з створеного буде потрібне при експлуатації електромобілів. Мережа розподілу електроенергії у промислових країнах досить розвинена, що знадобиться для збільшення його потужності.

Значна кількість зарядних станцій (колонок) для електромобілів є вже нині. Наприклад, в Феніксі та його околицях (штат Арізона, США). Зазвичай, електрозаправки встановлено біля торгових центрів.

#### **10.8.1 Електричні мережі**

Тягові акумуляторні батареї електромобілів можуть бути по заряджені в гаражі власника у нічний певний час чи швидко на зарядній станції. Метод заряду визначає вимоги до електричних мереж. Тягові акумуляторні батареї можуть повільно заряджатися в гаражах власників від розеток побутової електромережі не піковий нічний час за 5...10 годин. Такі самі розетки з приймачами для монет чи кредитних карт за необхідності буде встановлено на автостоянках й у громадських гаражах для підзарядки під час паркування. Повільний заряд в нічні не пікові години лише поліпшить ефективність використання існуючої електричної мережі. Дозаряд значної частини електромобілів вдень збільшує навантаження на електричну мережу, які з огляду на це доведеться посилювати. Природно, тарифи на електроенергію в пікові і не пікові години приділятимуться різними. Зарядні станції (колонки) для прискореного заряду мають потужність 150 кВт, струм заряду 300...400 А. Такі станції є значним піковим навантаженням для локальної електричної мережі. Електромережі доведеться посилити, крім цього розробляються кошти на компенсації пікового навантаження: акумулятори, маховики, пристрої на ефект надпровідності. Потужні зарядні станції застосовуються тому, щоб за 10...30 хвилин дозарядити батарею, після чого електромобіль має пройти щонайменше 110... 160 км. Експериментальні станції для прискореного заряду вже розміщуються як на шосе, так й у містах аналогічно бензозаправочним.

### 10.8.2 Вищі гармоніки і коефіцієнт потужності

Зарядні пристрої навантажують електромережу вищими гармоніками і споживають реактивну потужність. На рисунку 10.8 показана осцилограмма струму в первинному ланцюзі на зарядній станції в Феніксі, отримана в 1994 року при одночасного повільному заряді понад 30 електромобілів. Зарядний струм за кожен електромобіль не досягав 30 А від мережі 240 В. Коефіцієнт потужності половина зарядних пристроїв був гірший за 0,86. У 80% зарядних пристроїв коефіцієнт гармонік був він більше 30%.

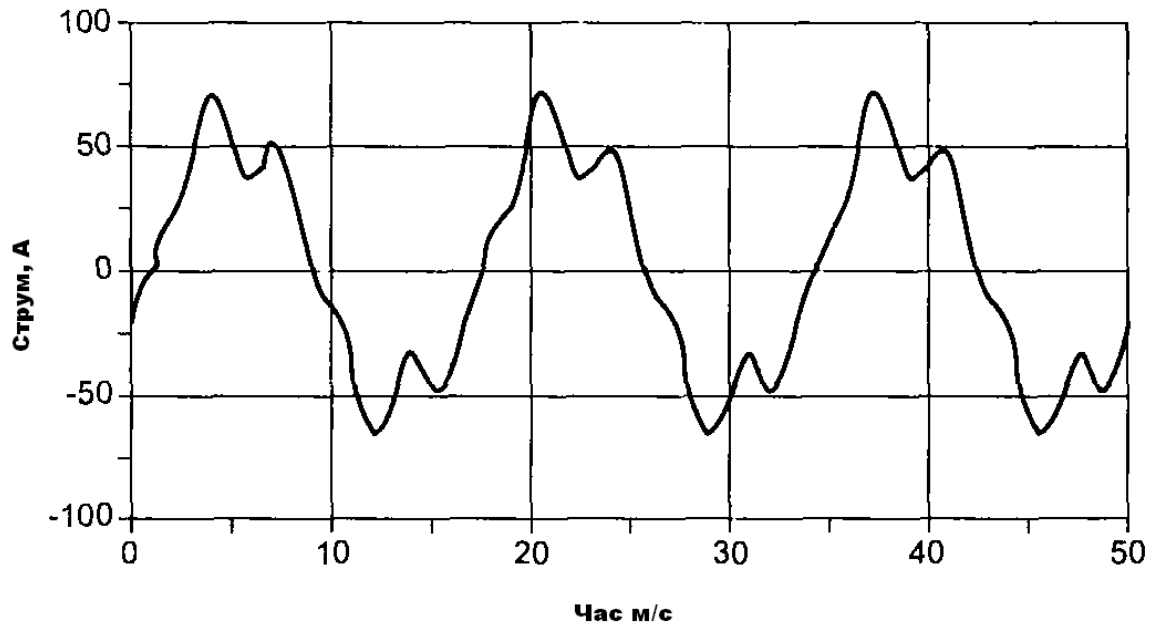


Рисунок 10.8 - Осцилограмма зарядного струму

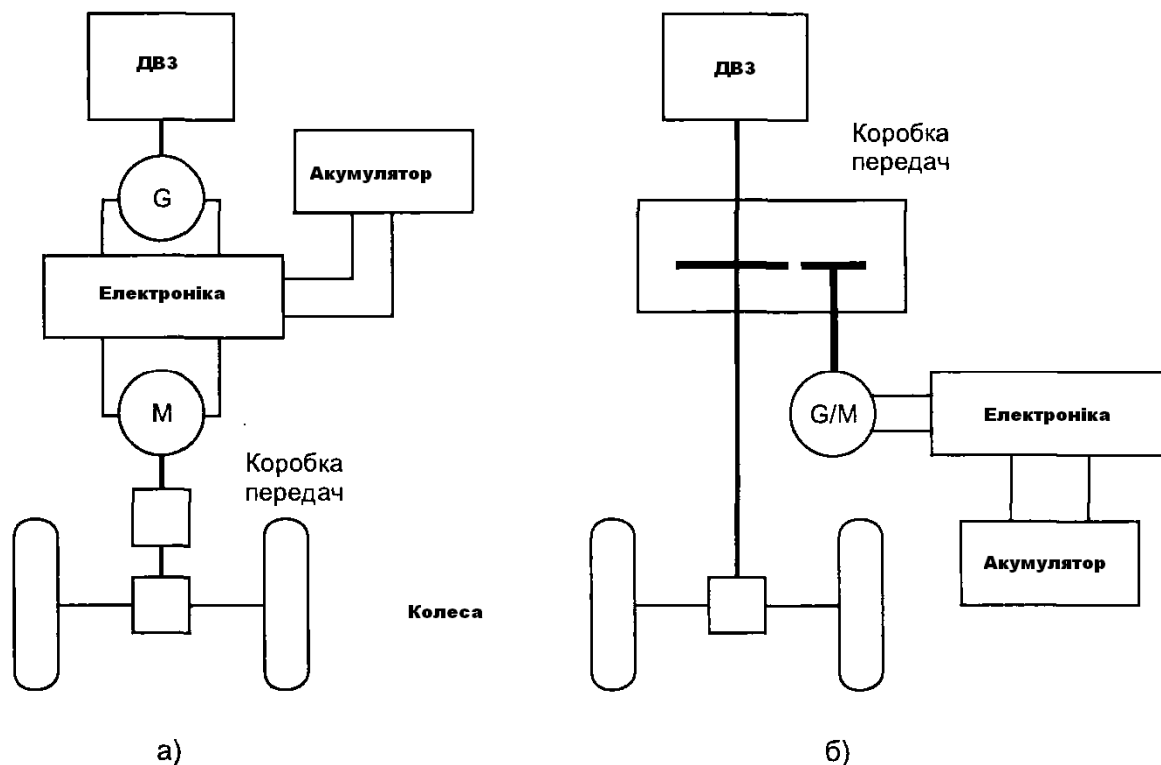
Перехід від тиристорних випрямлячів до транзисторних високочастотних перетворювачів дозволяє збільшити коефіцієнт потужності і применшити коефіцієнт гармонік.

### 10.8.3 Електромагнітне випромінювання

Струми в працюючому електромобілі досягають сотень ампер і породжують електромагнітне випромінювання усередині та поза транспортним засобом. Привід постійного струму випромінює сталий розвиток і змінне електромагнітне поле. Привід змінного струму — змінне поле. Частота найпотужнішої першої гармоніки випромінюваного поля визначається оборотами тягового двигуна. Найбільш інтенсивні поля виникають при прискоренні і рекупераційному гальмуванні. Саме тоді в моторному відсіку електромобіля індукція поля сягає 120 мГс. У салоні через екранізування корпусом поля практично немає. При заряді в безпосередній близькості зарядного кабелю індукція магнітного поля близько 50 мГс, з відривом 50 см від електромобіля 20...30 мГс.

### 10.9 Гібридні електромобілі

Гібридні електромобілі мають двигун внутрішнього згорання, тяговий електродвигун і акумуляторну батарею. Гібридні електромобілі з ДВЗ іноді називають бензоелектромобілями. Під час руху по замиському шосе, коли забруднення атмосфери менш критично, працює ДВЗ, рушійний електромобіль і підзаряджаючий акумуляторну батарею. У місті рух виробляється від тягової акумуляторної батареї.



**Рисунок 10.9 - Послідовна (чи паралельна (б) схема силової установки гібридного електромобіля**

У вночі тягові акумулятори можуть під заряджатися від електричної мережі. Відомі паралельні, послідовні і змішані схеми гібридних силових установок (рисунок 10.9).

### 10.9.1 Послідовна схема

ДВЗ спричиняє дію на генератор G, який заряджає акумуляторну батарею і дає енергію тяговому електродвигуну M, обертаючому колеса. Привід електродвигуна спрощує коробку перемикачів передач. Недолік такої схеми: і ДВЗ, і тяговий електродвигун розраховують з максимальної потужності, ККД системи низький.

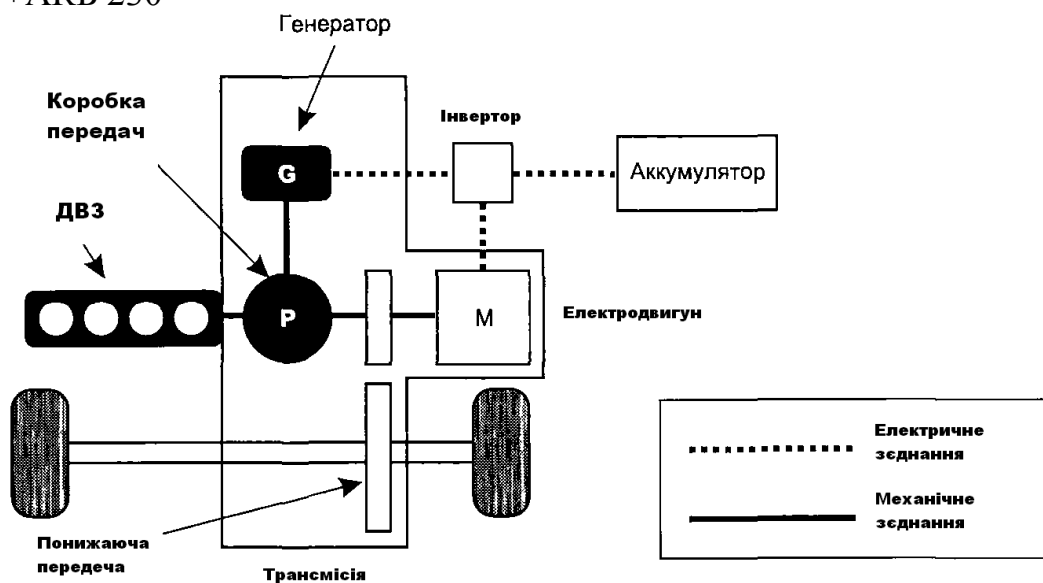
### 10.9.2 Паралельна схема

У паралельній структурі, ДВЗ і тяговий електродвигун під'єднані до механічної коробки перемикачів передач. Електричний привід складається з оборотного електродвигуна G/M, електронного управління і акумуляторної батареї. На шосе ДВЗ рухає електромобіль і крізь мотор-генератор заряджає акумуляторну батарею. У місті працює електродвигун. Під час підйому та при інших умовах, коли потрібно максимум потужності, обидва двигуни працюють паралельно, їх потужності сумуються. Ця структура забезпечує менше значення, невисоку вартість, більший ККД проти акумуляторними електромобілями.

### 10.9.3 Змішана схема

Модель Toyota Prius є першим серійним гібридним електромобілем. З 1997 року їх частка лише у Японії продали більш 37000 штук. Це п'ятимістний седан вартістю близько 20 000 доларів. Електромобіль має 1,5-літровий бензиновий двигун потужністю 53 кВт (70 л. з.) при 4500 об./хв, безколекторний електродвигун постійного струму потужністю 33 кВт при 1040...5600 об./хв, тягову батарею з нікель-металгідридних акумуляторів з номінальним напругою 274 В. Система керування гібридної силової

установки (рисунок 10.10) забезпечує рух електромобіля із швидкістю в оптимальному режимі. При цьому працюють чи бензиновий двигун чи електродвигун окремо, чи його комбінація з різними частками за проектною потужністю. Для водія і пасажирів переключення режимів відбувається практично непомітно. Змішана структура, реалізована на Toyota Prius, комбінує гідності паралельної та послідовної схем. Бензиновий двигун через коробку перемикачів передач може спонукати до дії колеса і генератор. Напруга з генератора після перетворення на інверторі надходить для заряду акумуляторної батареї або для роботи електродвигуна. Спеціальна коробка перемикачів передач підсумовує і розподіляє енергію між бензиновим двигуном, електродвигуном, генератором. При гальмуванні енергія рекуперується, за необхідності різкого гальмування використовують і звичайні гідравлічні гальма. Є й антиблокувальна гальмівна система. Бензоелектромобіль, подібний такому японському Toyota Prius, розроблений у Росії. Вітчизняний завод «Іжмаш» з урахуванням універсального автомобіля ІЖ-21261 створив бензоелектромобіль з гібридною силовою установкою ДВЗ + ЕДВ + АКБ 230



**Рисунок 10.10 - Блок-схема гібридної силової установки електромобіля Toyota Prius**

Генератор (8 х 12 У) і з паралельним з'єднанням двигунів через спеціальний редуктор. Невеликими серіями такий ІЖ-БЭ випускається з 1998 року. Недоліки: висока вартість (11200 у. е.), малий запас електроходу (12...15 км), можливість влучення агресивної газового середовища до салону, мізерне багажне відділення, вага більше, ніж в прототипу, на 120 кг, невеличка потужність енергоустановки (46 к.с), низька прийомистість. Переваги: зменшена витрата бензину 3 л/100 км (у прототипу 7,2 л/100 км); можливість експлуатацію у екологічно чистих, наприклад, курортних зонах. Інтерес до електромобілів з гібридними силовими установками невинно зростає. Провідні автомобільні фірми стали чи почнуть до найближчого часу дрібносерійне виробництво гібридних моделей: Ford Prodigy (Ford Motor), GM Precept (General Motors), Chrysler Citadel і Dodge PowerBox (Daimler Chrysler), Honda Insight (Honda) та інших.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Соснин Д.А., Яковлев Д.Ф. “Новейшие автомобильные электронные системы” - М, Солон-пресс, 2005.
2. Данов Б.А. “Электронные системы управления иностранных автомобилей” – М, Горячая линия – Телеком , 2002.
3. Тюнин А.А.. “Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей”, М, Солон-пресс, 2007.
4. Акимов С.В., Чижиков Ю.П. “Электрооборудование автомобилей. Учебник для ВУЗов” – М, ЗАО КЖИ “За рулем”, 2004.
5. Е. Суэмацу. “Микрокомпьютерные системы управления. Первое знакомство”. М. “До дека-XXI”, 2002.
6. Кашкаров А.П. “500 схем для радиолюбителей. Электронные датчики”. – СПб, “Наука и техника”, 2008.
7. Сobotка З., Стары Я. “Микропроцессорные системы”. – М. “Энергоиздат”, 1981.
8. Андрианов В.И., Соколов А.В. “Охранные устройства для автомобилей. Справочное пособие”. – СПб. Издательство Лань, 1997.
9. Литвиненко В.В., Майструк А.П. “Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник”. – М. ЗАО КЖИ “За рулем”, 2004.
10. Боровский В.П. “Справочник по схемотехнике для радиолюбителя”. – К, Техніка, 1987.
11. “Руководство по ремонту, техническому обслуживанию и эксплуатации автомобилей ВАЗ-2110 и их модификаций”. – М. “Издательский Дом Третий Рим”, 2003.
12. Кукурудзяк Ю.Ю., Ребедайло В.В. “Метод автоматизованого діагностування системи запалювання та системи керування автомобільним двигуном: монографія” – Вінниця, ВНТУ, 2010.
13. Гладій Б.О. “Автомати і автоматика. Автоматичне регулювання систем автомобіля. Електронні давачі. Фондова лекція з дисципліни “Електротехніка і електроніка”, Новороздільський політехнічний коледж, 2009.
14. Волошко Г.П., Курилкин Б.В. “Методические указания к выполнению самостоятельной работы по дисциплине “Системы автоматизации производства и ремонта вагонов”, – Самара, Самшит, 2002.
15. Журнал “Chip News Украина. Инженерная микроэлектроника.” [www.chipnews.com.ua](http://www.chipnews.com.ua).
16. <http://avto-elektronika.ru> (статті по електронних системах автомобіля)
17. <http://autocry.narod.ru> (статті по автомобілях ВАЗ).
18. <http://smanuals.ru> (інструкції з ремонту електронної апаратури).
19. [http://mondeoclub.ru/remont/ystr\\_akpp.htm](http://mondeoclub.ru/remont/ystr_akpp.htm) (будова та порядок роботи автоматичної трансмісії – електронна книга).
20. <http://rb-kwin.bosch.com> (автомобільні технології фірми Bosch).