МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни

«Електронні системи керування транспортними засобами»

для студентів спеціальності 133
«Галузеве машинобудування»
(«Колісні та гусеничні транспортні засоби»),
усіх форм навчання

Частина 1 - змістовий модуль 1.
Розвиток електричних систем автомобіля

2020

ТЕКСТИ (конспект лекцій) з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 1 - змістовий модуль 1. Розвиток електричних систем автомобіля / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 80 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензенти: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук;
С.М. Турпак, професор, д-р.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри «Автомобілі»
Протокол № __8__
від «__30__»__червня__ 2020.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № __88__
від «_31_»__серпня_ 2020.

ЗМІСТ

Частина 1
Вступ 5
Тематичний план лекційних занять 6
Лекція № 1. Вступ до курсу. Розвиток електричної системи автомобіля..... 9
Лекція № 2. Основи електротехніки та електроніки..... 31
Лекція № 3. Системи обміну даними в автомобілі 53
Рекомендована література..... 76
Базова 76
Допоміжна..... 76
Інформаційні ресурси 80

Частина 2
Вступ 84
Тематичний план лекційних занять 85
Лекція № 4. Батареї та системи заряду транспортних засобів 88
Лекція № 5. Системи подачі палива.....111
Лекція № 6. Системи запалювання.....128
Лекція № 7. Електронне керування роботою двигуна внутрішнього згоряння.....150
Рекомендована література.....180
Базова 180
Допоміжна..... 180
Інформаційні ресурси 184

Частина 3
Вступ 188
Тематичний план лекційних занять 189
Лекція № 8. Електронні системи керування динамікою автомобіля.....192
Лекція № 9. Системи освітлення 234
Рекомендована література.....290
Базова 290
Допоміжна..... 290
Інформаційні ресурси 294

Частина 4

Вступ 298
Тематичний план лекційних занять 299
Лекція № 10. Електронні системи безпеки 302
Лекція № 11. Протиугінні системи 341
Рекомендована література 372
Базова 372
Допоміжна..... 372
Інформаційні ресурси 376

Частина 5

Вступ 380
Тематичний план лекційних занять 381
Лекція № 12. Електронні системи інформування водія.....384
Лекція № 13. Електронні системи керування мікрокліматом
в салоні автомобіля.....433
Рекомендована література 466
Базова 466
Допоміжна..... 466
Інформаційні ресурси 470

Частина 6

Вступ 474
Тематичний план лекційних занять 475
Лекція № 14. Електронні системи шасі.....478
Лекція № 15. Гібридні та електричні автомобілі 522
Рекомендована література 562
Базова 562
Допоміжна..... 562
Інформаційні ресурси 566

ВСТУП

Стрімке вдосконалення систем автомобільної електроніки та систем упорскування палива, спрямованих на значне зниження шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобіля, все більше застосування електроніки в роботі допоміжних систем транспортних засобів, вдосконалення електронного обладнання кузовних систем та шасі автомобіля, змусили авторів цього курсу повністю переглянути і переробити розроблену раніше структуру дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами».

В даному курсі лекцій, в основному, викладаються загальні принципи устрою електричних і електронних систем, властиві любим моделям автомобілів різних виробників. Особливості конструкції вузлів і агрегатів конкретних моделей автомобілів наведені лише для ілюстрації. Поряд з описом сучасних систем електрообладнання та електронних систем, в курсі лекцій приділено увагу і більш старим електронним пристроям, оскільки сотні тисяч старих моделей автомобілів все ще знаходяться в експлуатації в Україні.

Оскільки даний курс лекцій «Електронні системи керування транспортними засобами» являє собою спеціалізований курс, необхідний для практичної діяльності майбутнього інженера-механіка з освітньою спеціалізацією «Колісні та гусеничні транспортні засоби», в ньому розглянуті як загальні питання і відомості про електронне обладнання транспортних засобів, так і питання їхньої подальшої діагностики і технічного обслуговування під час експлуатації.

Окрему увагу приділено гібридним автомобілям і електромобілям: розглянуті методи та шляхи оснащення транспортних засобів сучасними системами тягового електроприводу, системами автоматичного управління гібридних систем з послідовною, паралельною і комбінованою енергетичними установками. Розглянуті методи підвищення ефективності використання гібридних автомобілів і підвищення екологічності, з урахуванням досягнень вітчизняної та світової науки в галузі машинобудування.

Враховуючи вищесказане, слід зазначити що для вивчення даної дисципліни необхідні глибокі знання загальноосвітніх інженерних дисциплін, таких, як фізика, електротехніка, електроніка, інформатика, а також знання устрою двигуна внутрішнього згоряння і процесів, що відбуваються в двигуні.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ

Загальний об’єм курсу становить 30 годин і складається з двох змістових модулів. Даний конспект лекцій дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» складається з шести частин, і розроблений відповідно до:

Робоча програма з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів за напрямом підготовки 6.050503 - «Машинобудування», спеціальністю 133 - Галузеве машинобудування (Колісні та гусеничні транспортні засоби), усіх форм навчання. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 23 с.

Нижче наведено назву змістового модуля дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами», найменування тем лекційних занять в модулі і вказано кількість годин аудиторних занять, для студентів денної форми навчання, окремо для кожної лекції.

Для кожної теми лекції вказано перелік питань які треба розглянути під час даної лекції. Слід враховувати те, що в даному конспекті лекцій приведено лише стислий огляд питань кожної лекції. Крім того навчальним планом дисципліни передбачено активну самостійну роботу студентів за вказаними темами курсу.

Вкінці кожної лекції наведено перелік питань для самоперевірки. Для самостійної роботи студенту слід користуватися рекомендованою літературою для вивчення дисципліни, перелік якої наведено в кінці даного конспекту лекцій, а також використовувати розроблені методичні вказівки:

Методичні вказівки з вивчення дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби»), усіх форм навчання / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 62 с.

Змістовий модуль 1. Розвиток електричних систем автомобіля.

Тема 1. Вступ до курсу. Розвиток електричної системи автомобіля (2 год.)

Предмет і завдання дисципліни. Структура курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами. Коротка історія розвитку електричної системи автомобіля. Сучасні розробки та можливі напрямки розвитку автомобільних електронних систем.

Тема 2. Основи електротехніки та електроніки (2 год.)

Потік електронів і умовний напрямок струму. Фундаментальні залежності. Електричні ланцюги і резистори. Магнетизм і електромагнетизм. Електромагнітна індукція. Основні закони електрики. Електронні компоненти й схеми.

Тема 3. Системи обміну даними в автомобілі (2 год.)

Необхідність шинних систем. Структури шин даних. Основні принципи цифрової передачі даних. Шина даних CAN. Передача сигналів. Процес комунікації. Діагностика. Шина даних LIN. Оптичні шинні системи для передачі даних. Передача сигналів через світловоди. Шина даних MOST. Діагностика шини даних MOST. Шина Byteflight.

Тема 4. Батареї та системи заряду транспортних засобів (2 год.)

Вимоги до батарей. Правильний вибір батареї. Розташування батареї на транспортному засобі. Свинцево-кислотні батареї: конструкції, класифікація, сила струму і ємність, обслуговування і зарядка. Діагностика несправностей батарей. Розробки в області накопичення електричної енергії. Вимоги до систем зарядки батарей. Принципи побудови системи зарядки. Нові розробки в системах зарядки батарей.

Тема 5. Системи подачі палива (2 год.)

Процес згоряння палива в двигуні із запалюванням від іскри. Діапазон і швидкість горіння. Детонація. Передчасне займання. Конс-

трукція камери згоряння. Концентрація суміші і якість роботи двигуна. Двигуни із запалюванням від стиснення. Конструкція камери згоряння дизельного двигуна. Постачання двигуна паливом і шкідливі викиди. Електронне керування карбюратором. Впорскування палива. Короткий огляд систем впорскування. Впорскування дизельного палива. Електронне керування дизельним впорскуванням. Технологія спалювання бідних сумішей (Mazda). Система Common rail.

Тема 6. Системи запалювання (2 год.)

Функціональні вимоги. Типи систем запалювання. Кут випередження (регулювання моменту запалення). Споживання палива і склад вихлопних газів. Компоненти класичної системи запалювання. Електронне запалювання. Генератор імпульсів на основі ефекту Холла. Конденсаторна система запалювання. Програмне запалювання. Системи запалювання без розподільника. Пряме запалювання (котушка на свічі). Свічі запалювання.

Тема 7. Електронне керування роботою двигуна внутрішнього згоряння (2 год.)

Об'єднане керування запаленням і подачею палива. Вплив конструкції двигуна на обсяг шкідливих викидів. Каталітичні конвертери (нейтралізатори). Лямбда-контроль в замкнутому контурі керування. Контроль вихлопу дизеля. Система Cartronic компанії Bosch. Система GDI (Mitsubishi). Система Bosch Motronic M3. Безпосереднє впорскування палива (Bosch). Напрямки вдосконалення систем керування двигуном.

ЛЕКЦІЯ № 1. ВСТУП ДО КУРСУ. РОЗВИТОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ АВТОМОБІЛЯ

План лекції. Предмет і завдання дисципліни. Структура курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами. Коротка історія розвитку електричної системи автомобіля. Сучасні розробки та можливі напрямки розвитку автомобільних електронних систем.

Література: [3]-[7], [9]-[11], [29]-[35], [40].

Метою курсу лекцій з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» є узагальнення, систематизація питань конструкції, діагностування та обслуговування сучасних електронних систем автомобіля.

При розробці даного курсу були використані результати праць провідних вчених вузів України таких як: Волкова В.П., Бажинова О.В., Двадненко В.Я., Хакіма М., Кашканова А.А., Смірнова О.П., Сєрікова С.А., Росії (МАДІ) Рибакова В.К., Ісмоілова М.І. Значну увагу було приділено аналізу та систематизації знань, представлених в іноземній (англомовній) літературі, в тому числі електронних ресурсів виробників сучасних електронних систем автомобілів.

При створенні даного курсу лекцій автори ставили собі за мету формування у студентів повного, комплексного уявлення знань про електронні системи сучасних автомобілів, що вкрай важливо для інженера автомобільного транспорту, оскільки частка електроніки в автомобілях постійно збільшується. Так у 2010 році на неї припадало 35 % вартості автомобіля, у 2017-му вже 40 %, і очікується, що в найближче десятиліття частка електроніки в собівартості автомобіля досягне 50 і більше відсотків.

Зараз найбільш масштабною й різнобічною ринковою тенденцією слід назвати всебічну комп'ютеризацію автомобіля. Тобто вже стали нормою вбудовані в приладову панель автомобіля екрани з досить великою діагоналлю, які поряд з розважальними функціями ще й вирішують завдання полегшення навігації автомобіля в просторі, повним ходом ведуться роботи зі створення вбудованих в лобове скло прозорих моніторів. На них буде відображатися не тільки важлива для водія

інформація, але і зможе формуватися картинка віртуальної реальності, яка доповнює природну площу огляду водія. І поява нових технологій, таких як 3D-ламіноване скло, сприятиме ще швидшому і широкому розвитку описаних технологій в автомобілебудуванні.

З іншого боку, все більша доступність Інтернету і швидкість потоків інформації створюють умови для більш широкого розвитку систем телематики. Іншими словами, полегшується автономний обмін інформацією між автомобілем і будь-якими об'єктами, які не належать до нього. В кінцевому результаті це має спричинити за собою створення повноцінного автономного автомобіля. Зайвим підтвердженням всьому цьому служить опублікована ще в 2017 році стаття M. Alam «П'ять основних трендів підключеного до мережі автомобіля», де дається опис поточного розвитку різних технологій «спілкування» автомобіля з зовнішнім світом.

Не менша увага приділяється екологічним показникам автомобіля, виконати які без мікропроцесорного управління силовим агрегатом неможливо. Ще більше зростає роль електронних і мікропроцесорних систем, які багато в чому визначають активну і пасивну безпеку автомобіля. Отже немає ніяких сумнівів, що питання конструкції, експлуатації електронних систем автомобіля є актуальними.

І Україна до речі не стоїть осторонь всіх цих процесів, про що явно свідчить вже запроваджений в країні стандарт зв'язку 4G та підписаний Президентом В. Зеленським в серпні 2019 року законопроект про розвиток зарядної інфраструктури для електромобілів в країні.

Але слід зазначити, що саме поняття електронної системи є більш загальним, ніж поняття мікропроцесорної системи. У найзагальнішому сенсі під електронною системою розуміється система, побудована на радіоелектронних елементах. Для чіткого розуміння відмінності між електронною і мікропроцесорної системами слід одразу визначити їх поняття, причому для першої в більш вузькому сенсі.

Електронна система автомобіля - система (вузол) автомобіля, алгоритм функціонування якої визначається принциповою електричною схемою блоку управління або всього вузла. При цьому технічно електронний блок управління (ЕБУ) або весь вузол може бути виконаний на дискретних та (або) інтегральних радіоелементах, а зміна алгоритму роботи системи або вузла неможлива без зміни електричної схеми.

Мікропроцесорна система автомобіля - система автомобіля,

алгоритм функціонування якої визначається програмою процесора електронного блоку управління (ЕБУ). Таким чином, в даній системі завжди є блок управління на основі мікропроцесора і для зміни алгоритму роботи системи потрібно змінити програму мікропроцесора.

В даний час накопичений значний досвід застосування електронної апаратури в автомобілях. Використання цього досвіду є важливою умовою прискорення розробок нових, більш досконалих електронних пристроїв.

На відміну від початкового періоду розвитку автомобільної електроніки, для сучасного характерна наявність основних чотирьох напрямків:

- створення електронних пристроїв для заміни ними традиційних вузлів автомобільного електрообладнання (регулятори напруги, управління світловою та звуковою сигналізацією, регулятори систем опалення, кондиціонування, підігріву двигуна, тахометри, спідометри);
- застосування електронних пристроїв (в тому числі з використанням ЕОМ) для безперервного контролю та видачі поточної інформації про експлуатаційні показники автомобіля (наприклад, поточну витрату палива, чи слід змінювати ту чи іншу передачу для оптимального режиму руху, тощо); до цієї категорії пристроїв слід віднести і системи діагностування стану агрегатів автомобіля;
- розробка електронної апаратури управління запалюванням, паливоподачею і системами, що забезпечують зниження токсичності відпрацьованих газів двигуна;
- створення електронних пристроїв для систем керування агрегатами трансмісії, гальмівними системами та іншими вузлами автомобіля (за винятком двигуна).

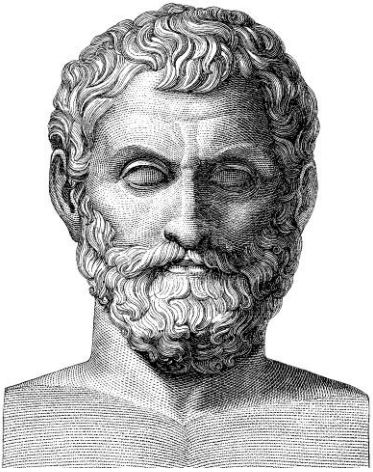
Застосування електронної апаратури в системах управління агрегатами автомобіля в ряді випадків спричинило доцільність зміни конструкції самих агрегатів. Тому сучасна автомобільна електронна система управління фактично є комплексом власне електронної апаратури і керованих нею виконавчих пристроїв.

Електронні системи управління, створювані на базі дискретних елементів та інтегральних мікросхем, що виконують якусь певну задачу управління, відносяться до систем з жорсткою логікою, алгоритм їх функціонування визначається схемотехнікою системи. У мікропроце-

сорних систем таке обмеження відсутнє, тобто при одній і тій же структурі дані системи можуть реалізовувати різні алгоритми управління внаслідок відповідної зміни запису команд в елементах пам'яті системи. Завдяки цьому мікропроцесорні системи утворюють особливий клас електронних систем управління і мають ряд унікальних можливостей з точки зору реалізації найскладніших завдань управління.

Коротка історія розвитку електричної системи автомобіля.

Історія електричної енергії може бути простежена приблизно до 600 р. до н.е., коли грецький філософ Фалес Мілетський виявив, що бурштин, потертий шматком хутра, притягує легкі предмети, такі як пір'я. Це явище обумовлено статичною електрикою. Приблизно в цей же час пастух на території нинішньої Туреччини виявив явище магнетизму - він побачив, що частинки гірської породи прилипають до залізного наконечника його палиці. Вільям Гілберт в 16-му столітті довів, що багато інших речовин також є «електричними» і що вони мають дві електричні властивості.



(також іноді Талес, (624 до н. е., Мілет, Туреччина - 547 до н. е., Мілет, Туреччина)) - давньогрецький філософ, математик, астроном, купець і політичний діяч, вважається першим носієм наукової думки в історії

Рисунок 1.1 - Фалес Мілетський

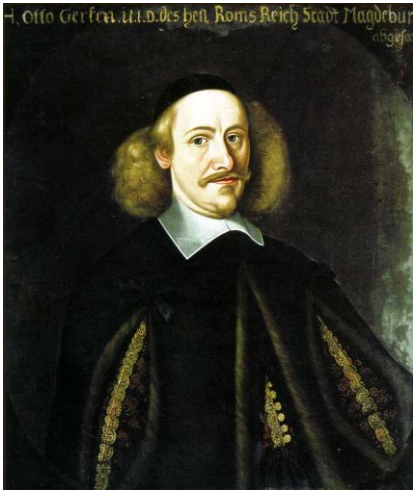
(William Gilbert, 24 травня 1544 року, Колчестер - 30 листопада 1603 року, Лондон) - англійський фізик, придворний лікар Єлизавети I та Якова I. Вивчав магнітні та електричні явища, першим ввів термін «електричний»

Рисунок 1.2 - Вільям Гілберт

У той час як потертий шматочком хутра бурштин набуває «смоляну електрику», скло, потерте шовком, набуває «скляну електрику». Електрика відштовхує той же тип електрики і притягує протилежний тип. Вчені того часу вважали, що тертя насправді створює електрику (їх термін для електричних зарядів). Вони не могли припустити, що рівна кількість протилежного електричного заряду залишається на хутрі або шовку.

Німець Отто фон Геріке винайшов перший електричний прилад у 1672 р. Він зарядив кулю з сірки статичною електрикою, тримаючи свою руку навпроти нього, в той час як куля оберталася навколо осі.

Його експеримент був фактично передвісником теорії, розвинутої в 1740 р. англійським фізиком Вільямом Ватсоном і американським державним діячем Бенджаміном Франкліном, суть якої в тому, що «електричні заряди находяться в будь-якій речовині і що вони можуть бути отримані тертям».



(нім. Otto von Guericke; 30 листопада 1602, Магдебург - 11 травня 1686, Гамбург) - німецький винахідник, фізик, інженер і філософ

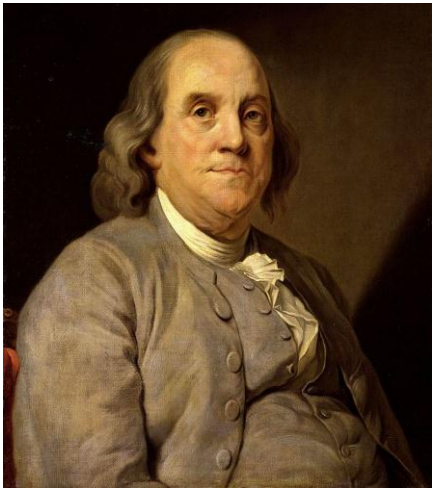
Рисунок 1.3 - Отто фон Ґеріке

(англ. William Watson, 3 квітня 1715, Лондон - 10 травня 1787, Лондон) - англійський лікар і вчений, дослідник електрики

Рисунок 1.4 - Вільям Уотсон

Франклін для того, щоб довести, що блискавка є різновидом

електрики, запустив повітряного змія і під час грози викликав іскри, торкаючись ключем до дроту. Деяка користь від цього ризикованого експерименту полягала в тому, що Франклін винайшов громовідвід.



(англ. Benjamin Franklin, 17 січня 1706, Бостон, США - 17 квітня 1790, Філадельфія, США) - ввів загальноприйняте тепер позначення електрично заряджених станів «+» і «-», висунув ідею електричного двигуна, вперше застосував електричну іскру для вибуху пороху

Рисунок 1.5 - Бенджамін Франклін

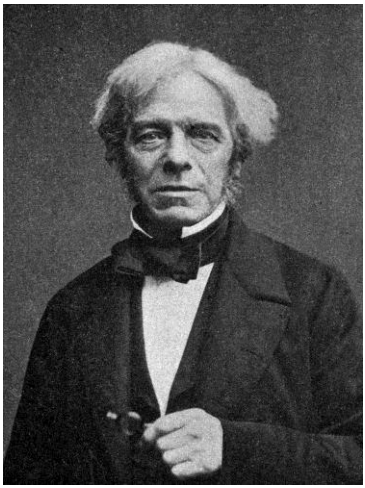
(18 лютого 1745 - 5 березня 1827) - італійський фізик і фізіолог, один з основоположників вчення про електрику. Сконструював першу електричну батарею - Вольтів стовп

Рисунок 1.6 - Алессандро Вольта

Алессандро Вольта, італійський аристократ, винайшов першу батарею. Використовуючи кілька наповнених солоною водою скляних ємностей, в які були поміщені цинкові й мідні електроди, він виявив, що можна отримати електричний удар, доторкнувшись до проводів.

То була перша гальванічним батарея і, безсумнівно, попередниця акумулятора, який був винайдений французьким фізиком Гастоном Планте в 1859 р. Цього разу це була кислотно-свинцева батарея, в якій електрика створювалася за рахунок хімічної реакції. При цьому батарея могла бути відновлена подачею електричного струму в протилежному напрямку. Але ніяка батарея або акумуляторний елемент не мо-

же дати більше певної кількості енергії, і винахідники незабаром усвідомили що потрібне постійне джерело електричного струму.



(англ. Michael Faraday; 22 вересня 1791, Лондон, Англія - 25 серпня 1867, Лондон, Англія) - англійський фізик і хімік, засновник вчення про електромагнітне поле

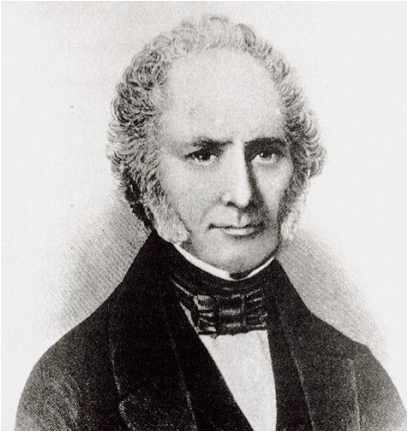
Рисунок 1.7 - Майкл Фарадей

У 1859-1860 рр. винайшов перший свинцевий акумулятор

Рисунок 1.8 - Раймон Луї Гастон Планте (1834-1889) - французький фізик

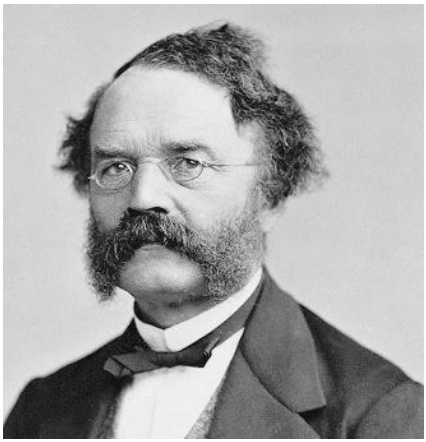
Майкл Фарадей, син коваля з Суррея і помічник сера Гемфрі Деві, винайшов електричний генератор. У 1831 р. Фарадей створив машину, в якій мідний диск обертався між полюсами великого магніту. Мідні пластини забезпечували контакти з ободом диска і віссю, на якій він обертався, електричний струм проходив, коли між пластинами був контакт. Вільям Стерджен з Варрінгтона, графство Ланкашир, створив перший працюючий електродвигун в 1820 р. Він також створив перші робочі електромагніти і використовував в генераторі замість постійних магнітів електромагніти, живлені від батарей.

Ряд винахідників, включаючи двох англійських електротехніків Кромвеля Варлі і Генрі Уальда, у 1866 р. вдосконалили технологію виготовлення постійних магнітів. Угорський фізик Аньйос Йєдлік і американський піонер електротехніки Мозес (Мойсей) Герріш Фермер також працювали на цьому терені.



(англ. William Sturgeon; 22 травня 1783 - 4 грудня 1850) - британський фізик, електротехнік і винахідник, створив перші електромагніти і винайшов перший англійський працюючий електродвигун

Рисунок 1.9 - Вільям Стерджен



(або Зіменс, нім. Werner von Siemens; 13 грудня 1816 - 6 грудня 1892) - німецький інженер, винахідник, учений, промисловець, засновник фірми Siemens, громадський і політичний діяч

Рисунок 1.10 - Вернер фон Сіменс

Але першим дійсно успішним генератором стало «дітище» німця Ернста Вернера фон Сіменса. Він створив свій генератор в 1867 р. і назвав його динамо-машиною. Сьогодні термін «динамо» вживається лише для генератора, який виробляє постійний електричний струм, а термін - «генератор» (від англ. alternator) має на увазі тільки машини змінного струму.

Американський інженер Еліу Томсон (Elihu Thomson) розробив електродвигуни, які могли працювати від змінного струму. Томпсон також винайшов трансформатор, який міняв напругу джерела електроенергії. Він показав свій винахід в 1879 р., а п'ятьма роками пізніше три угорця, Отто Тітус Блаті (Ottó Titusz Bláthy), Мікса Дері (Miksa Déri) і Каролі Зіперновський (Károly Zipernowsky) створили перші комерційно придатні трансформатори.

Неможливо точно визначити, хто вигадав конкретні електричні вузли для автомобільного двигуна. У другій половині 19-го століття новаторство у всіх областях техніки було стрімким і триває досі (див. Рис. 1.11 - 1.13).

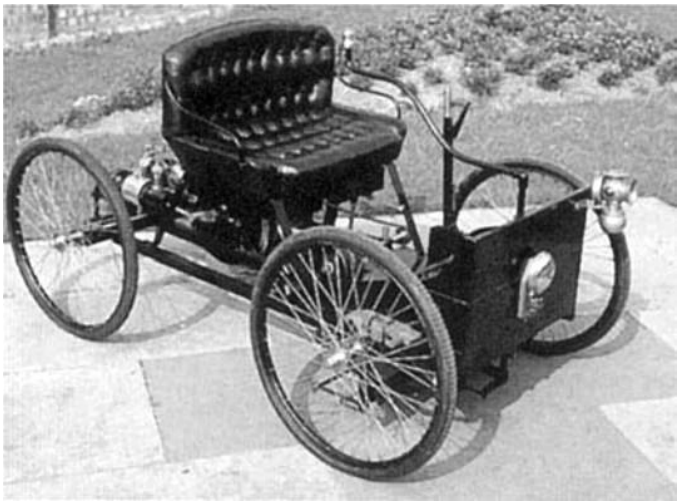


Рисунок 1.11 - Перший автомобіль Генрі Форда «Квадріцікл» (Quadricycle)

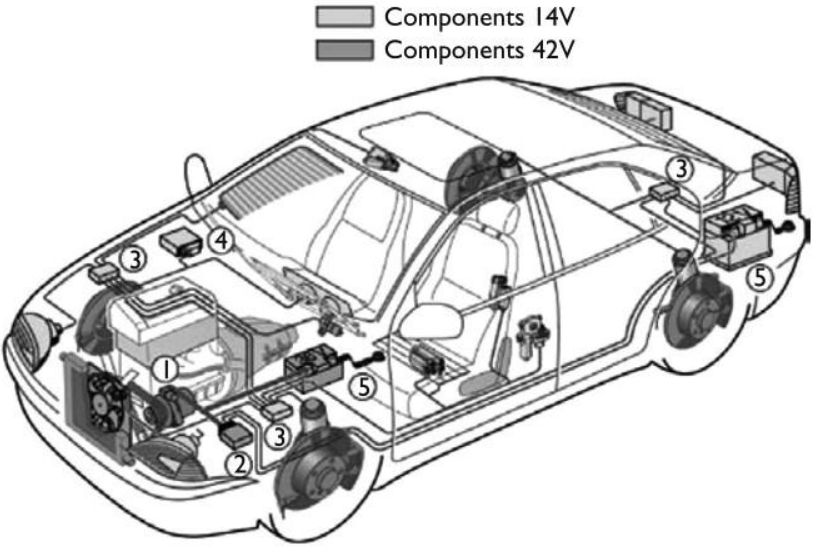
У 1860 р француз Етьєн Лєнуар винайшов перший працездатний газовий двигун. Саме цей двигун використовував варіант електричного запалювання на основі котушки, розробленої Румкорфом у 1851 р.

У 1866 р. Карл Бенц використував прототип магнето, який обертався від приводного ременя. Хоча він і вважав це незручним через мінливу швидкість свого двигуна, Карл вирішив цю задачу, використовуючи два елементи первинної батареї для забезпечення струму запалювання.

У 1889 р. француз Жорж Бутон винайшов контактні переривники для системи з котушкою запалювання, яка видавала позитивну високу напругу запалювання в момент пуску. Однак спірно, що саме ця схема є прообразом сьогоднішньої системи запалювання.

Еміль Морс використовував електричне запалювання, підключене до ланцюга низької напруги, що живиться акумуляторами, які підзаряджалися від динамо-машини, яка приводилася в рух ремінною передачею. Це була перша успішна зарядна система, вона може бути датована приблизно 1895 р.

Грандіозна в наші дні імперія Бош починалася Робертом Бошем дуже скромно. Найбільш важлива частина його ранніх досліджень була пов'язана з його майстром Фрідріхом Сіммсом.



1 - багатополюсний генератор змінного струму, 2 - двонаправлений перетворювач напруги 14/42 В, 3 - блок комутації сигналів і виходів (винесені запобіжники, діагностика), 4- енергетичний блок (управління генератором, споживачами і електроприводами), 5 - система здвоєних батарей (надійний запуск, безпека, система управління по проводах)

Рисунок 1.12 - Напрямки розвитку електронних систем автомобіля

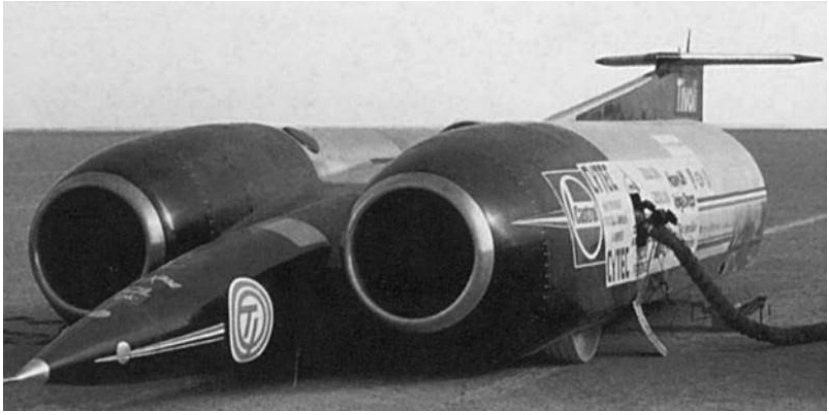


Рисунок 1.13 - Реактивний суперавтомобіль Thrust SSC

В кінці 19-го століття вони виготовили магнето низької напруги. У 1902 р. Бош впровадив магнето високої напруги майже універсального призначення. Н-подібний вид самого першого магнето сьогодні використовується як торгова марка Боша на всіх видах продукції компанії (рис. 1.14).

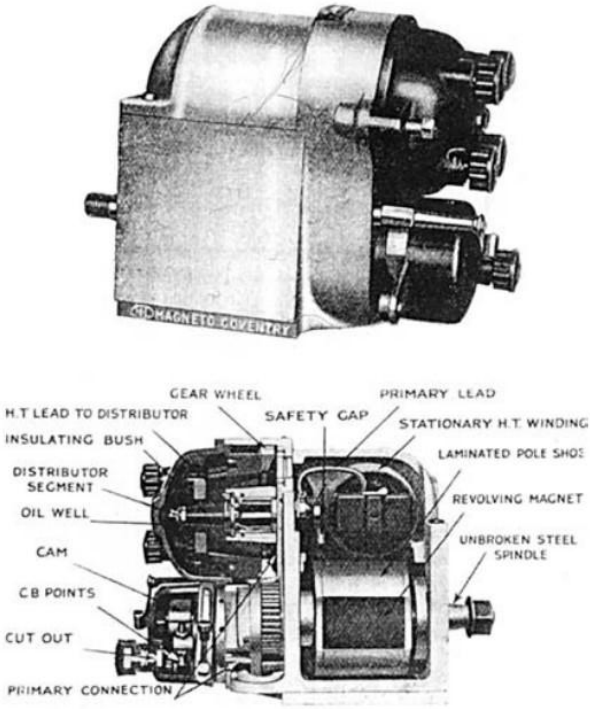


Рисунок 1.14 - Магнето-генератор з обертовим магнітом

З цього моменту і далі система запалювання з магнето була доведена в Європі до дуже високого рівня, в той час як в США верх взяла батарейна система запалювання. Істотну роль а цій галузі зіграв Чарльз Ф. Кеттерінг Працюючи на «Дайтоновську електричну компанію» - «Делко» (Delco), він створив стартер, систему запалювання і систему освітлення для «Кадилака» 1912 р. випуску. Кеттерінг також винайшов регулятор напруги ртутного типу.

Трьохщітковий генератор, розроблений доктором Гансом Лейтнером і Р.Г. Лукасом, вперше з'явився приблизно в 1905 р. Він дав во-

дієві деяку можливість управління системою підзаряду. За сучасними мірками це був дуже великий генератор, але він міг виробляти струм тільки близько 8 А (рис. 1.15).

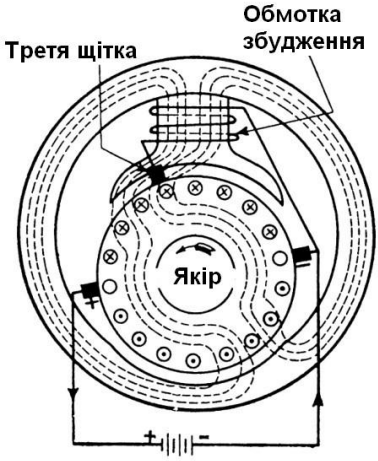


Рисунок 1.15 - Трьохщітковий генератор

Протягом наступного десятеліття було випробувано багато інших технічних прийомів, покликаних вирішити проблему регулювання потужності при постійно мінливій швидкості генератора. Був використаний ряд нових методів управління, деякі з великим успіхом, ніж попередні.

Наприклад, фрикційна муфта, яка плавно прослизала б при певній частоті обертання двигуна, знайшла обмежене використання. Однією з ідей була спіраль що нагрівається, у головному ланцюзі живлення, яка при нагріванні збільшувала свій опір і змушувала електричний струм текти в обхід її через шунтуючу котушку, зменшуючи поле підмагнічування динамо-машини.

Було використано безліч варіантів поля «шунтуючої котушки». Але все одно керування зарядкою батареї для всіх цих систем постійного струму було поганим, і часто на водія покладався обов'язок включати і вимикати струм зарядки при досягненні високого і низького граничних значень. По суті, одним з ранніх видів оснащення на приладовій дошці був покажчик рівня електроліту, щоб контролювати стан зарядки батареї!

Двощіткова динамо-машина і блок контролю напруги з компенсацією були вперше використані в 1930-х рр. Це дало значно кращий контроль над процесом заряду і підготувало ґрунт для виникнення багатьох інших електричних систем (рис. 1.16).

У 1936 р. відбувся давно обговорюваний перехід до «позитивної землі» і Лукас зіграв в цьому велику роль (рис. 1.17). Це було зроблено для того, щоб зменшити напругу іскроутворення і таким чином продовжити життя електрода свічки. Це також давало надію зменшити корозію на клемах батареї та інших контактах в машині.

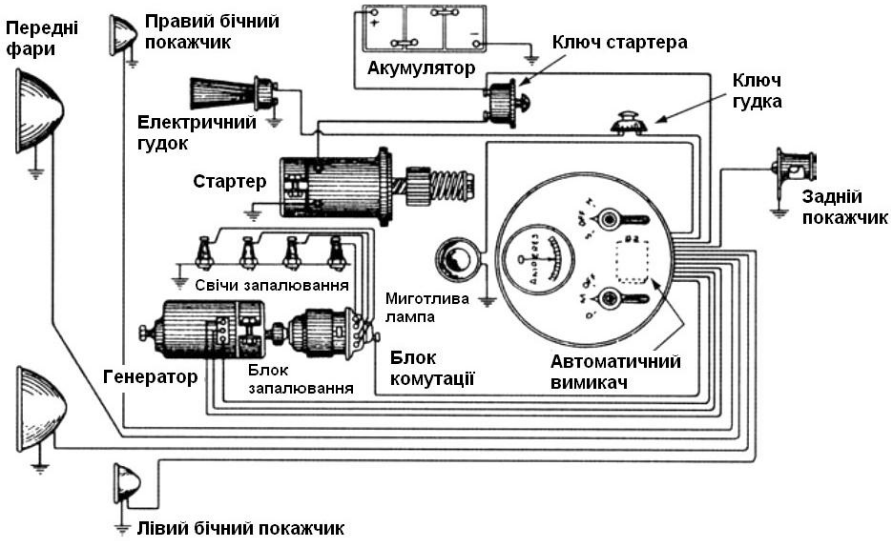


Рисунок 1.16 - Повна схема електричних ланцюгів в автомобілі

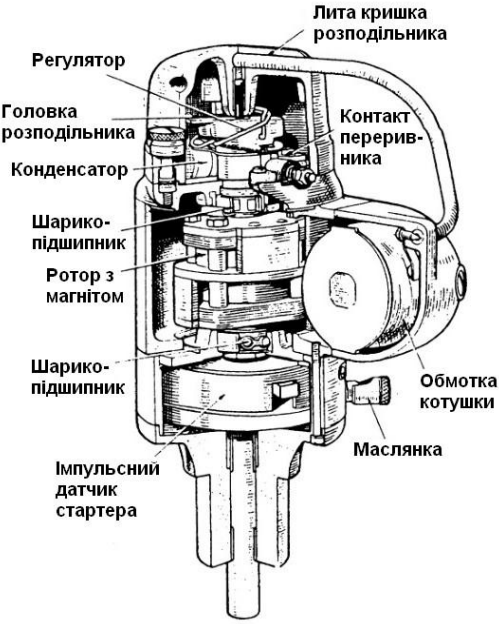


Рисунок 1.17 - Поперечний розріз магнето Лукаса типу 6VRA

П'ятдесяті роки XX ст. були ерою, коли системи освітлення почали розвиватися в напрямку створення сучасних складних пристроїв. Миготливі «поворотники» замінили ручки семафорів, а лампи з подвійною ниткою накалу зробили більш зручними фари. Кварцова галогенова лампа, однак, з'явилася лише на початку 1970-х.

У практику увійшла установка таких вузлів, як: опалювачі, радіоприймачі і, навіть, прикурювачі. Також, в 1960-70 рр. в більшій мірі стали доступними багато додаткових опцій, такі як омивачі вітрового скла і двошвидкісні склоочисники. Компанія Cadillac створила повноцінну систему кондиціонування і навіть таймери для фар.

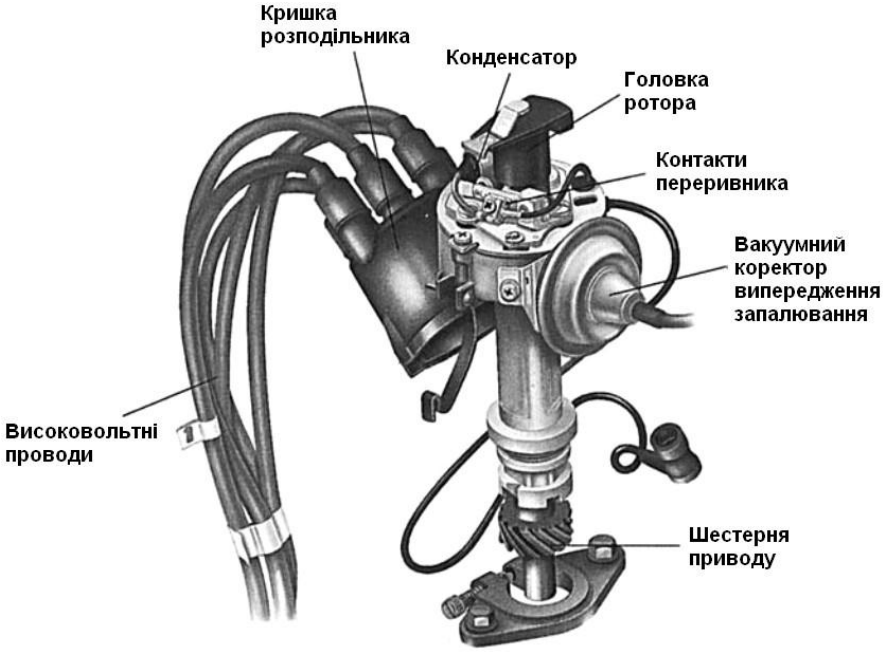


Рисунок 1.18 - Розподільник запалювання з контактними переривниками

Система з негативною землею була знову введена в практику в 1965 р. Це, однак, створило ряд гострих проблем, пов'язаних, зокрема, з поширенням саморобних радіоприймачів та інших аксесуарів. Але і це теж було добре, природно, для успішної торгівлі автомобілями.

Ера інжекції палива і електронного запалювання почалася в 70-х

рр. XX ст. Склад приладів став куди більш складним, і розташування їх на приборній дошці стало тепер найважливішою областю дизайна. У деяких типах автомобілів стандартом стали задні стекла з підігрівом. Генератор змінного струму, вперше використаний в 60-і роки в США, до 1974 року став нормою і в Англії.

Велика доступна потужність і стабільність генератора змінного струму стали тим, чого саме і чекала електронна промисловість, і до 80-х років XX ст. електричні системи змінилися до невпізнання.

Успіхи в створенні мікрокомп'ютерів і пов'язаних з ними технологій зробили можливим управління всіма функціями автомобіля за допомогою електрики.

Електрична та електронна системи автомобілів багатьом здаються лякаюче складними, але і в той же час це його найбільш цікаві системи. Використовувані сьогодні складні електричні схеми та системи створювалися не водночас і не просто так. Неможливо точно визначити, хто і коли винайшов окремий вузол, оскільки в ту пору розробки велися як паралельно, так і послідовно.

Цікаво поміркувати над тим, кого ми могли б назвати засновником електричної системи автомобіля. Майкл Фарадей, звісно, заслуговує більшого зізнання, але разом із ним цього ж заслуговують Етьєн Лєнуар, Роберт Бош, Ніколас Отто та інші.

Можливо, нам варто було б повернутися назад, навіть ще далі стародавнього грецького філософа Фалеса Мілетського, який, натираючи бурштин хутром, виявив статичну електрику. Доречі, грецька назва бурштину - «електрон».

Докладну історичну хронологію винаходів, з іменами й датами, ви можете знайти самі в книзі Тома Дентона (Tom Denton. Automobile electrical and electronic systems, 2004).

Сучасні розробки та можливі напрямки розвитку автомобільних електронних систем.

Більшість виробників вдосконалюють існуючі технології. Однак електронне управління продовжує застосовуватися у більшості областей транспортних засобів. Основною «кроковою зміною» найближчим часом стане перехід на системи 42В, що відкриває двері для інших розробок. Основні зміни відбудуться із впровадженням більшої кількості систем X-by-wire. Телематика також розвиватиметься далі. Однак хто насправді знає?

Головний виразний тренд в автоіндустрії останнього часу - це злиття та поглинання. Якщо казати взагалі, то сучасна автоіндустрія - це в першу чергу величезні концерни і різні бізнес-об'єднання, які володіють більшістю автомобільних брендів. Сьогодні, щоб порахувати самостійні компанії-автовиробники, вистачить пальців однієї руки: першими на думку спадають японські Honda і Mazda, а тепер, напевно, і Ford, який після кризи в Детройті в кінці 2000-х був змушений продати більшість своїх дочірніх брендів, залишивши тільки Lincoln. Та й то, недавно Ford і Volkswagen оголосили про глобальну співпрацю, що може передувати їх потенційному злиттю.

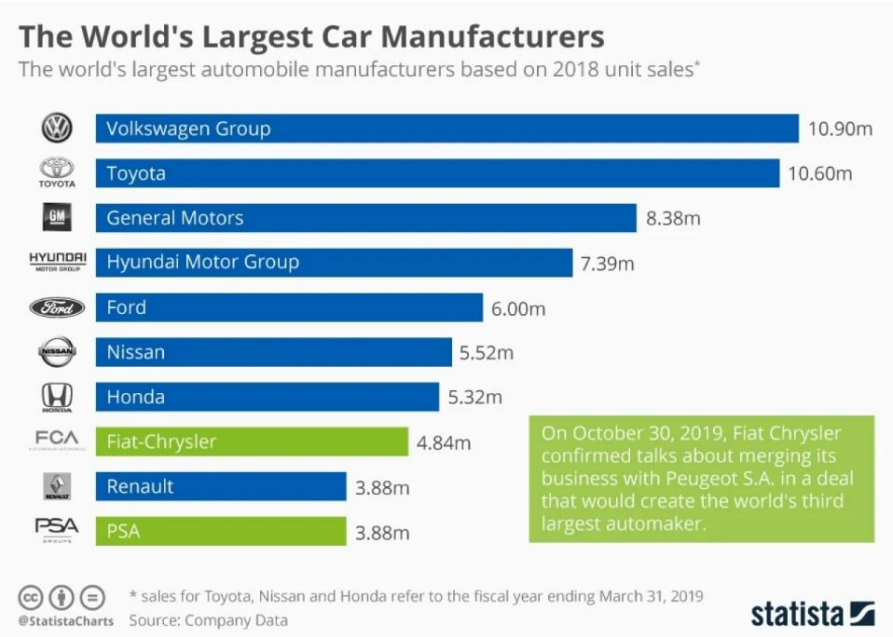


Рисунок 1.19 - Стан світової автоіндустрії на листопад 2019 року

У листопаді 2019 р. таке злиття відбулося між італо-американською компанією Fiat Chrysler Automobiles (FCA) і французьким автовиробником Groupe PSA (Peugeot Société Anonyme), - керівництво підприємств домовилося про взаємний обмін акціями 50 % на 50 % і створенні штаб-квартири нової об'єднаної групи в Нідерландах.

Такий альянс - надзвичайно важлива новина на ринку автомобі-

лебудування, оскільки як FCA, так і PSA і без того є величезними корпораціями, які володіють кількома брендами.

Наприклад, французькому PSA належать Citroën, Peugeot, Opel, Vauxhall, і DS Automobiles, а в повному розпорядженні FCA знаходяться Alfa Romeo, Abarth, Ferrari, Chrysler, Dodge, RAM, Jeep, Lancia і Maserati. Разом ці компанії в минулому році продали 8,7 млн. машин, що робить їх четвертим за обсягом продажів автомобільним об'єднанням у світі після Volkswagen AG, Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance і Toyota Motor Corporation.

Поки що складно оцінити, наскільки успішним буде злиття FCA-PSA, адже виробництво різних автомобілів на одній платформі - річ дуже неоднозначна. Крім популярних трійнят Volkswagen Touareg, Audi Q7, Porsche Cayenne і інших «вдалих» родичів VAG, історія знає і кілька негативних прикладів: навряд чи можна назвати хорошим рішенням поглинання південнокорейської компанії Daewoo американською General Motors, після якого залишилася лише одна малолітражка Aveo, яка ще зовсім недавно випускалася на нашому рідному АвтоЗАЗі.

Але слід сказати, що такі донедавна популярні в Україні Lanos а згодом Sens, були створені Daewoo на основі німецької марки Opel моделі Kadett E, яка в той час також належала General Motors. Не те, щоб ці машини були занадто погані, але Kadett E навіть в роки свого випуску - 1984-1993 рр. - був дуже посереднім авто, і спроба його реанімації наступні 30 років навряд чи могла призвести до чогось грандіозного.

До сучасних не найбільш вдалих прикладів злиттів приписують деякі спільні моделі Renault і Nissan, або навіть спроби Ford повторити успіх свого Mondeo в другому поколінні Mazda 6. Крім цього, погане майбутнє пророкували і компанії Volvo, яку китайський холдинг Geely Automobile викупив у Ford Motor в 2010 р. Один з найвідоміших автожурналістів в світі Джеремі Кларксон тоді писав, що у Geely не вистачить «глибини кишень», щоб підтримувати Volvo на колишньому рівні.

Але, як не дивно, шведські інженери як і раніше стоять в авангарді автомобільної безпеки, автопілотування, створюють якісні авто і недавно навіть випустили свій перший повністю електричний кросовер XC40 Recharge. Можна навести ще кілька десятків таких прикладів, але від цього альянсу Fiat Chrysler і Groupe PSA навряд чи стане

більш прогнозованим і зрозумілим.

Всі ці процеси говорять тільки про одне - про уніфікацію і стандартизацію автоіндустрії, а отже і про відсутність будь-яких проривних технічних рішень та інновацій. Оскільки об'єднання ще недавно конструктивно різних брендів призведе до створення всього декількох платформ, які будуть відрізнятися тільки назвами. Кінцевою метою є саме економія коштів на розробку нових технічних рішень і скорочення витрат при виробництві.

Інший виразний тренд останнього часу - це прискорення світової програми переходу на електромобілі. EV100 - це світова ініціатива щодо прискорення переходу на електромобілі до 2030 року. Серед засновників EV100 такі компанії як Deutsche Post DHL, Ikea, Metro, PG & E, Unilever і аеропорт Хітроу.

Так за даними статистики на лютий 2020 р., в Норвегії рівень продажів електромобілів з урахуванням гібридних моделей досяг майже 55 % від загальної кількості автомобілів, які були продані в 2019 році. Найбільш продаваним в країні електромобілем з великим відривом від конкурентів стала Tesla Model 3.

Норвезька статистика також показує, що ні водневі автомобілі, ні автомобілі, що працюють на природному газі, поки не користуються популярністю. При цьому Норвегія, яка є лідером по запасам нафти і газу в Європі, планує ввести заборону на продаж дизельних і бензинових автомобілів вже в 2025 році. Однак при такій динаміці продажів електромобілів заборона може і не знадобитися.

Уряд Естонії стимулює громадян і підприємства до покупки електромобілів, виділяючи фінансові компенсації в розмірі 5000 євро на покупку електрокарів.

Уряд Великобританії заборонить продаж нових авто з двигунами внутрішнього згоряння, які використають бензин і дизельне паливо починаючи з 2035 року. Це на 5 років раніше, ніж планувалося раніше, пише Reuters. За словами прем'єр-міністра Великобританії Бориса Джонсона, керівництво країни шукає способи заборонити продаж такого транспорту навіть раніше 2035 року.

Варто відзначити, що Британія все ще залишається другим за розміром ринком Європи з продажу бензинових авто, які як і раніше становлять 90 % продажів, відзначає видання. При цьому потенційні покупці електричних авто стурбовані обмеженою кількістю точок зарядки, асортиментом певних моделей і ціною електромобілів. Для то-

го, щоб вирішити цю проблему, уряд виділив $ 3,25 млн. на установку більше 1 000 нових точок для зарядок електрокарів.

Прийдешня заборона сильно вплине на автовиробників, і скоротить число людей, зайнятих в індустрії. Британія на даний момент є джерелом близько 20 % світових продажів, а електрокари виробляються швидше бензинових авто приблизно на 30 %.

У вересні 2019 р. Маркус Шефер, глава розробки німецького концерну Daimler, до складу якого входить компанія Mercedes-Benz, заявив про зупинку всіх майбутніх розробок бензинових двигунів, і що тепер концерн буде зосереджений виключно на створенні електричних силових агрегатів: «Майбутнє автомобільної промисловості суто електричне. Концерн Daimler повністю переходить на створення електромоторів для своїх майбутніх моделей».

За словами Шефера, Daimler готується представити нове покоління двигунів внутрішнього згоряння яке буде встановлено в E- і S-класі, проте воно може стати останнім для концерну. Також Шефер зазначив, що хоча в даний час у Daimler і немає планів на майбутню розробку бензинових двигунів, але пріоритети все ж можуть змінитися. Однак зараз основна увага приділяється створенню виключно електричних моторів. Згідно електричної стратегії розвитку трохи раніше Mercedes-Benz вже був представлений електричний кросовер EQC, а незабаром будуть показані EQB і седан представницького класу EQS.

Все вищесказане говорить про те що ***напрями вдосконалення конструкції автомобіля в цілому, і подальший розвиток електронних систем управління транспортними засобами буде вестися за чотирма ключовими напрямками***:

1. Підвищення безпеки. Автомобіль є об'єктом підвищеної небезпеки, що визначає розвиток різних систем безпеки. Зараз широке поширення вже отримали системи активної безпеки, в тому числі антиблокувальна система гальм, система курсової стійкості. Значно підвищується захищеність водія та пасажирів з застосуванням засобів пасивної безпеки.

2. Підвищення паливної економічності. Витрата палива в значній мірі залежить від конструкції двигуна і коробки передач. Сьогоднішні технології забезпечують економічність двигунів внутрішнього згоряння, а заодно їхні екологічні показники, перш за все за рахунок застосування електронних систем управління двигуном, на основі систем безпосереднього упорскування палива (для бензинових) і систем

упорскування Common Rail (для дизелів). Економія палива та показники екології досягається також за рахунок зниження маси автомобіля шляхом застосування міцних сталей, легких металів і пластиків.

3. Підвищення екологічної безпеки. Автомобіль є джерелом забруднення навколишнього середовища, що стимулює безперервне підвищення екологічної безпеки. Сучасні екологічні норми Євро-6, якими автовиробники керуються ще з 2015 року, припускають зниження шкідливих викидів за рахунок конструктивних змін у випускній системі, системі управління двигуном.

4. Підвищення комфортності. Охоплює широке коло питань і пов'язане з прагненням автовиробників створювати автомобілі, які найповніше відповідають індивідуальним запитам споживачів. Сьогодні вже увійшло в практику застосування автоматичної коробки передач з електронним управлінням, рульового управління з електропідсилювачем (це дозволяє запровадити електронні системи паркування авто взагалі без участі людини), системи клімат-контролю, тощо. Найбільш просунуті моделі оснащуються адаптивною підвіскою, системою активного головного світла.

Стрімкий розвиток електронних систем управління, а саме їхнє здешевлення та мінімізація розмірів, зумовлює появу нових видів електронних пристроїв, підвищення продуктивності електронних блоків управління застосовуваних на транспортних засобах. Останнім часом все більший ухил в розробці нових конструктивних рішень йде саме в сторону систем активної та пасивної безпеки автомобілів.

Найбільш відомими і затребуваними електронними системами активної безпеки автомобілів сьогодні є:

- антиблокувальна система гальм;
- антипробуксовочна система;
- система курсової стійкості;
- система розподілу гальмівних зусиль;
- система екстреного гальмування;
- система виявлення пішоходів;
- електронне блокування диференціала.

Перераховані системи активної безпеки конструктивно пов'язані і тісно взаємодіють з гальмівною системою автомобіля і значно підвищують її ефективність. Ряд електронних систем може управляти величиною крутного моменту через систему управління двигуном.

Є також допоміжні системи активної безпеки (асистенти), призначені для допомоги водієві в важких з точки зору водіння ситуаціях. Крім своєчасного попередження водія про можливу небезпеку, електронні системи здійснюють і активне втручання в управління автомобілем, використовуючи при цьому гальмівну систему і рульове управління.

До допоміжних систем активної безпеки відносяться наступні електронні системи:

- паркувальна система;
- система кругового огляду;
- адаптивний круїз-контроль;
- система аварійного рульового управління;
- система допомоги руху по смузі;
- система допомоги при перестроюванні;
- система нічного бачення;
- система розпізнавання дорожніх знаків;
- система контролю втоми водія;
- система допомоги при спуску;
- система допомоги при підйомі.

Проміжне становище між активними і пасивними системами безпеки займають превентивні (попереджувальні) електронні системи безпеки. Превентивна система безпеки (інше найменування - система попередження зіткнення) покликана уникнути зіткнення, а якщо воно сталося - зменшити тяжкість аварії.

Залежно від конструкції конкретної електронної системи в ній можуть бути реалізовані наступні функції:

- попередження водія про небезпеку зіткнення;
- підготовка гальмівної системи до екстреного гальмування;
- активація окремих пристроїв пасивної безпеки;
- часткове або повне автоматичне гальмування.

Для реалізації даних функцій в превентивних системах безпеки використовуються технології адаптивного круїз-контролю, системи динамічної стабілізації, системи пасивної безпеки. Ряд превентивних систем, що реалізують функцію автоматичного гальмування, носять назву систем екстреного гальмування. Таким чином, превентивна система безпеки - це ефективний симбіоз систем активної і пасивної безпеки. В даний час превентивні системи безпеки досить широко поширені і активно впроваджуються на легкові автомобілі.

Сукупність конструктивних елементів, що застосовуються для захисту пасажирів від травм при аварії, становить систему пасивної безпеки автомобіля. Система повинна забезпечувати захист не тільки пасажирів і конкретного автомобіля, а й інших учасників дорожнього руху. Найважливішими компонентами системи пасивної безпеки автомобіля є:

- ремені безпеки;
- натягувач ременів безпеки;
- активні підголівники;
- подушки безпеки;
- безпечна конструкція кузова;
- аварійний розмикач акумуляторної батареї;
- ряд інших пристроїв (система захисту при перекиданні на кабріолеті; дитячі системи безпеки - кріплення, крісла, ремені безпеки).

Питання для самоперевірки

1. Що слід розуміти під терміном електронна система автомобіля?
2. Що таке мікропроцесорна система автомобіля?
3. Які основні чотири напрямки характерні для розвитку сучасної автомобільної електроніки?
4. Розкажіть про того, хто винайшов свічку запалювання?
5. В якому році Алессандро Вольта винайшов першу гальванічну батарею?
6. Зробіть простий ескіз схеми магнето.
7. Поясніть, чому були впроваджені автомобілі з «позитивною землею»?
8. Поясніть, чому знову стали випускати автомобілі з «негативною землею»?
9. Який автомобіль був вперше обладнаний стартером?
10. Чарльз Ф. Кеттерінг грав істотну роль в розвитку автомобілебудування. Який був його головний внесок, і в якій компанії він працював в той час?
11. Опишіть коротко, чому законодавство має значний вплив на розвиток автомобільних систем.
12. Хто і коли винайшов перший свинцевий акумулятор?
13. Хто і коли винайшов контактні переривники для системи з котушкою запалювання?

ЛЕКЦІЯ № 2. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ

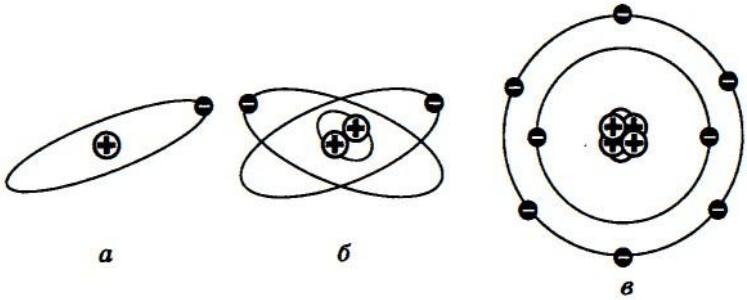
План лекції. Потік електронів і умовний напрямок струму. Фундаментальні залежності. Електричні ланцюги і резистори. Магнетизм і електромагнетизм. Електромагнітна індукція. Основні закони електрики. Електронні компоненти й схеми.

Література: [4], [6], [7], [9] - [11].

Сила струму.

Всі тіла, що оточують нас, складаються з молекул. Молекули, в свою чергу, діляться на атоми. Кожен атом складається з ядра і електронів що обертаються навколо нього. Атоми різних хімічних елементів містять різну кількість електронів.

Ядро атомів складається з протонів і нейтронів, які пов'язані між собою і можуть бути розщеплені тільки при особливих умовах. Протони мають позитивний заряд електрики, а електрони - негативний.



а - водню, б - гелію, в - кисню

Рисунок 2.1 - Схематичний устрій атомів
(орбіти електронів зображені в одній площині)

В системі СІ заряд вимірюється в кулонах (Кл). Величина елементарного заряду $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. У 1785 р. Шарль Кулон експериментально встановив закон взаємодії двох точкових зарядів. Сила взаємодії двох точкових заряджених тіл прямо пропорційна добутку зарядів цих тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

$$F_э = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \qquad (2.1)$$

де $F_З$ - електрична сила, Н (ньютон);
Q_1, Q_2 - електричні заряди, Кл (кулон);
r - відстань між зарядженими тілами;
E_0= 8,85·10^{-12}ф/м (фарад / метр) - електрична постійна.

Формула записана для випадку взаємодії точкових тіл у вакуумі.

Електричне поле створюється зарядженими частинками і тілами і разом з тим діє на заряджені частинки і тіла з деякою силою. З огляду на це, зазначимо дві важливі обставини: кожне з двох взаємодіючих тіл (з зарядами Q_1 і Q_2) створює своє електричне поле, а в оточуючому просторі одне поле накладається на інше і утворюється загальне електричне поле (в даному випадку діє принцип накладення полів); силову взаємодію двох заряджених тіл слід розглядати як результат дії на кожне з них загального електричного поля, створеного цими тілами.

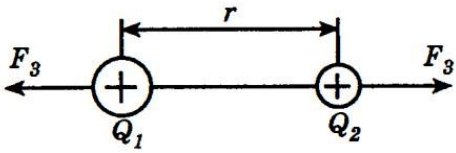


Рисунок 2.2 - Схема взаємодії електричних зарядів

Напруга.

Напруженість електричного поля по властивості і характеристиці залежить від форми зарядженого тіла, і розподіл його заряду - від взаємного розташування заряджених тіл (так як поле створюється групою тіл), від властивостей середовища, що оточує заряджені тіла, і інших чинників. Тому електричні поля, створені при різних умовах, відрізняються одне від одного.

Для того щоб оцінити можливості використання електричного поля і вести відповідні розрахунки, застосовуються силові і енергетичні характеристики електричного поля.

Нехай джерелом електричного поля є тіло із зарядом Q_1, а заряд Q_2 дуже малий, що не змінить характеристик цього поля. Таким чином, заряд Q_2 є пробним, за допомогою якого можна виявити силу $F_э$ і

досліджувати електричне поле. Силовою характеристикою електричного поля є напруженість електричного поля.

Напруженість електричного поля - векторна величина, чисельно дорівнює відношенню сили, що діє на позитивно діючу частку, до її заряду:

$$E = F_э / Q_2, \tag{2.2}$$

де Е - напруженість електричного поля, В/м (Вольт/метр).

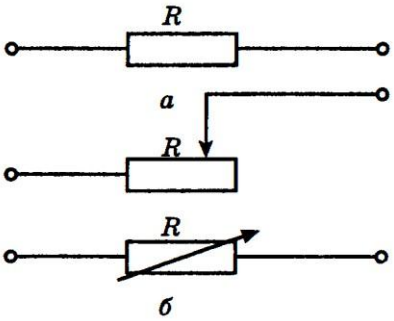
В системі СІ напруженість електричного поля вимірюється в вольтах на метр (В/м).

Опір.

В атомах твердих провідників (металів) електрони слабо пов'язані з ядрами і тому легко залишають свої атоми, переміщаючись до інших. Ці електрони безладно рухаються всередині провідника і називаються вільними. Якщо на такий провідник впливає зовнішнє електричне поле, то рух вільних електронів стає спрямованим. ***Переміщення електронів в провіднику в певному напрямку називається електричним струмом.*** Електричний струм можливий тільки в замкнутому ланцюзі. Електричне коло ділиться на внутрішню і зовнішню.

Внутрішній ланцюг - частина ланцюга, що знаходиться всередині самого джерела.

Зовнішній ланцюг - ланцюг, що складається зі сполучних проводів і споживачів струму.



а - резистора (опору), б-реостата

Рисунок 2.3 - Умовне позначення

Оскільки як зовнішній ланцюг, так і саме джерело енергії створюють перешкоду проходженню струму. ***Протидія електричного ланцюга проходженню електричного струму називається опором.*** Електричний опір позначається буквою R (r) і на схемах зображується, як показано на рис. 2.3, а. Пристрої, що включаються в електричний ланцюг і володіють опором, називаються резисторами.

Одиницею вимірювання опору є Ом. Це електричний опір лінійного провідника, в якому при незмінній різниці потенціалів в 1 В проходить струм в 1 А, тобто 1 Ом = 1 В / 1 А.

При вимірюванні великих опорів використовують одиниці в тисячу і в мільйон разів більше Ома. Вони називаються кілооми (кОм) і мегаОми (МОм);

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}, \tag{2.3}$$

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}. \tag{2.4}$$

Опір провідника залежить від матеріалу, довжини і площі поперечного перерізу. Чим довший провідник і чим менше його перетин, тим опір більший. Меншим опором володіють мідь, алюміній, великим - сталь і чавун. Опір провідника залежить також і від його температури, причому опір металевих провідників з підвищенням температури збільшується.

Регульовані опори називаються ***реостатами***. Опір реостатів може змінюватися рівномірно або ступенями. На схемах реостати позначають так, як показано на рис. 2.3, б.

Здатність провідника пропускати електричний струм характеризується ***провідністю***. Одиницею вимірювання провідності є ***Сіменс*** (1 Ом = См). Сила, під дією якої в ланцюзі виникає електричний струм, називається ***електрорушійною силою*** (***ЕРС***). Співвідношення між ЕРС, опором і струмом виражається законом Ома.

У 1826 р. Георг Ом (1787-1854) експериментально встановив, що сила струму на ділянці ланцюга прямо пропорційна напрузі, що додається до кінців цієї ділянки, і обернено пропорційна його опору:

$$I = \frac{U}{R}, \tag{2.5}$$

де I - сила струму;
U - напруга;
R - опір.

Робота і потужність.

Здатність тіла виробляти роботу називається енергією цього тіла. Енергія тіла тим більша, чим більшу роботу може виробити це тіло при своєму русі. Електрична енергія, або робота, є добуток напруги, струму в ланцюзі і часу його проходження:

$$A = UIt, \tag{2.6}$$

де А - робота; U- напруга; t - час.

Швидкість здійснення роботи характеризується потужністю.

Електрична потужність - це робота, що здійснюються струмом за одиницю часу (в 1 с).

$$P = \frac{A}{t} = UI, \tag{2.7}$$

де Р- потужність;
А робота;
t - час.

За одиницю потужності струму беруть ват (Вт). Один ват - це потужність, при якій за 1 с відбувається робота в 1 Дж (1 Вт = 1 Дж/с). Для вимірювання малих потужностей застосовують одиницю в тисячу разів меншу одного вата, звану міліват (мВт); 1 Вт = 1 000 мВт, а для вираження великих потужностей застосовують одиницю в тисячу разів більшу вата, звану кіловатом (кВт); 1 кВт = 1 000 Вт.

Електричний струм, проходячи по провіднику, зустрічає опір, на подолання якого витрачається частина електроенергії. Ця енергія перетворюється в теплову енергію. Енергія не зникає, а переходить з однієї форми в іншу.

Для оцінки властивостей перетворення енергії служить коефіцієнт корисної дії ККД, рівний відношенню корисної потужності джерела енергії P_2 до потужності споживаної ним P_1, тобто:

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \Delta P), \tag{2.8}$$

де ΔР - потужність, що витрачається на подолання втрат у джерелі або приймачі енергії.

Цей вислів показує, що ККД джерела або приймача електричної енергії тим вищий, чим менші втрати енергії в ньому.

Електромагнітна індукція.

Тіла, які здатні притягувати сталь, її сплави і деякі інші метали, називаються магнітами. Кожен магніт має два полюси (північний і

південний). Між полюсами магнітів існує взаємодія: однойменні полюси відштовхуються, а різнойменні - притягуються. Відбувається це тому, що в магнітах є магнітні сили.

Простір, в якому проявляється дія магнітних сил, називають магнітним полем, а лінії, в напрямку яких діють магнітні сили, - магнітними силовими лініями. Будь-яка магнітна лінія не має ні кінця, ні початку і являє собою замкнуту криву, так як північний і південний полюси магніту невіддільні один від іншого.

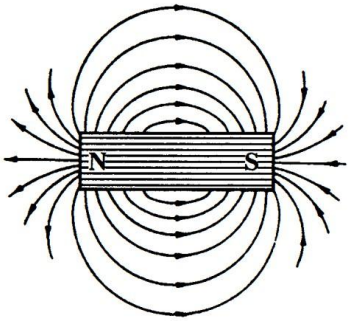
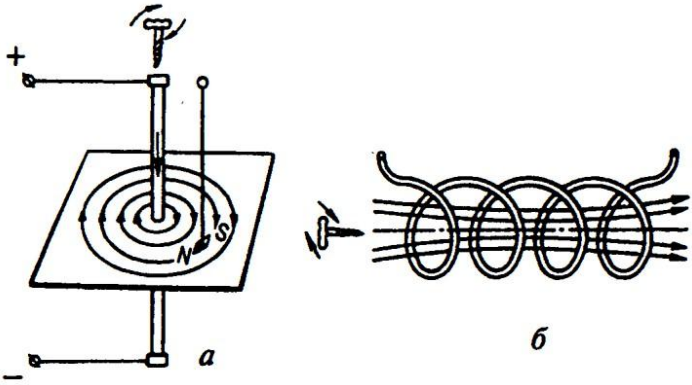


Рисунок 2.4 - Магнітне поле постійного магніту

Якщо по провіднику пропустити електричний струм, то навколо провідника виникне магнітне поле, магнітні силові лінії якого розподіляються у вигляді концентричних кіл.

Якщо провідник зі струмом згорнути у вигляді спіралі, то магнітні силові лінії будуть складатися і утворюють сумарний магнітне поле. Такий спіральний провідник називається соленоїдом (рис. 2.5, б). Якщо всередину соленоїда помістити залізний стрижень, то магнітне поле значно посилиться.



а - прямого провідника зі струмом, б - соленоїда

Рисунок 2.5 - Магнітне поле

Соленоїд, усередині якого поміщений залізний стрижень, нази-

вається електромагнітом. Залізний стрижень, поміщений усередині соленоїда, називається серцевиною, а витки соленоїда - обмоткою електромагніту.

Величина магнітного поля електромагніту залежить від величини струму: чим більша величина струму в обмотці електромагніту, тим сильніше його магнітне поле. При зміні напрямку струму в обмотці змінюється спрямованість магнітного поля електромагніту, а отже, і його полярність. Залежно від напрямку струму в провіднику, напрямок магнітних ліній утвореного їм магнітного поля визначається ***правилом свердлика:*** якщо поступальний рух свердлика збігається з напрямом струму в провіднику, то обертальний рух його рукоятки вказує напрямок магнітних ліній поля, що утворюється навколо цього провідника.

Якщо провідник помістити в магнітне поле і переміщати так, щоб він перетинав магнітні силові лінії, то в цьому провіднику наводиться ЕРС, а в разі замкненого кола з'явиться електричний струм. Це явище називається електромагнітною індукцією, а індукована електрорушійна сила - ЕРС індукції (рис. 2.6).

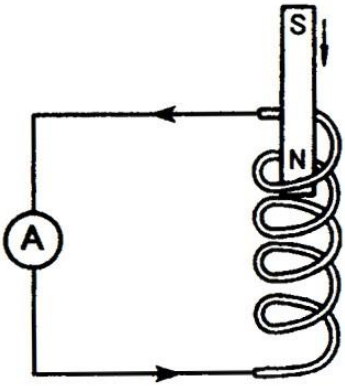


Рисунок 2.6 - Схема виникнення індукційного струму

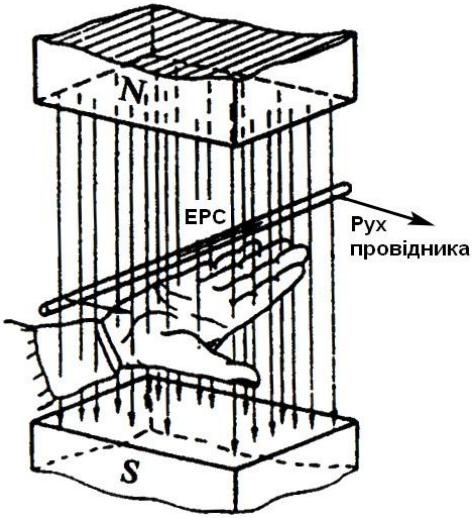


Рисунок 2.7 - Правило правої руки

ЕРС наводиться не тільки при переміщенні провідника в магніт-

ному полі, а й у тому випадку, коли провідник залишається нерухомим, а магнітне поле близько провідника або близько котушки змінюється, тобто з'являється, зникає або змінює свою величину.

Величина індукованої ЕРС залежить від кількості магнітних силових ліній (густоти магнітного потоку), довжини провідника і швидкості його руху в магнітному полі: чим більша активна довжина провідника і швидкість його руху, тим більша ЕРС. Інакше кажучи, індукована ЕРС тим більша, чим більша кількість магнітних силових ліній перетинає провідник в одиницю часу.

Напрямок індукованого струму залежить від напрямку магнітного потоку і визначається ***за правилом правої руки*** (рис. 2.7), яке формулюється так: якщо праву руку розташувати долонею до північного полюса так, щоб великий відігнутий палець показував напрямок руху провідника, то чотири пальці будуть вказувати напрямок ЕРС індукції.

Напрямок ЕРС індукції в нерухомому замкненому провіднику, контур якого пронизується змінюваним магнітним потоком, можна визначити, застосувавши ***правило Максвелла***: якщо замкнутий контур провідника пронизується зменшуваним магнітним потоком, то ЕРС індукції спрямована в ту сторону, в яку доводиться обертати рукоятку гвинта, закручуваного поступально за напрямом магнітних ліній.

Якщо магнітний потік провідника збільшується, то напрямок ЕРС індукції зворотний напрямку обертання рукоятки свердлика, закручуваного у напрямку магнітних полів.

Напрямок індукційного струму і ЕРС індукції визначають за **правилом Ленца**: ЕРС індукції має завжди такий напрямок, що створений нею індукційний струм перешкоджає причині, що її викликає.

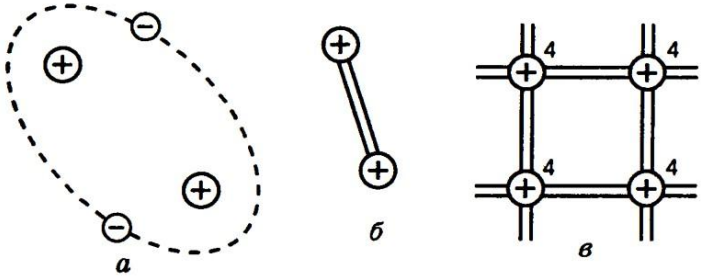
Явище електромагнітної індукції покладено в основу дії генераторів, котушок запалювання та інших приладів.

Провідники, ізолятори і напівпровідники.

Матеріали, які містять велику кількість вільних носіїв заряду, називаються провідниками. Провідниками є всі метали, розчини електролітів, розплави багатьох речовин та іонізовані гази. Серед металів високу провідність мають: срібло, мідь, золото, алюміній.

Ізолятори (діелектрики) - це речовини, які не мають вільних електронів. У них електрони перебувають на своїх орбітах поблизу ядра і не залишають його навіть при впливі електричного поля. Ізоля-

торами є скло, ебоніт, пластмаси, слюда, фарфор, гума, різні смоли, лаки, тощо.



а - парно-електронна (ковалентний) зв'язок атомів,
б - її схематичне зображення, в - зв'язки в кристалічній решітці германію

Рисунок 2.8 - Кристалічні ґрати напівпровідника

Напівпровідниками називаються матеріали, що займають проміжне положення між провідниками і діелектриками. Особливістю металевих провідників є наявність вільних електронів, які є носіями електричних зарядів. У діелектриках вільних електронів немає, і тому вони не проводять струм.

Характерною властивістю напівпровідників, який вирізняє їх від провідників і непровідників струму, є те, що вони мають не тільки електронну, а й «діркову» провідності, які залежать від температури, освітленості, стиснення, електричного поля та інших факторів. До напівпровідників, що знайшли практичне застосування в техніці, відносяться германій, кремній, селен, закис міді і деякі інші речовини.

У напівпровідниках хімічний зв'язок двох сусідніх атомів з утворенням на орбіті загальної пари електронів називають ковалентним або парноелектронним.

Електропровідність, обумовлена переміщенням вільних електронів, називається електронною провідністю, або n-провідністю.

При появі вільних електронів в ковалентних зв'язках утворюється вільне місце - «електронна дірка». Так як дірка виникла в місці відриву електрона від атома, в області її утворення виникає надлишковий позитивний заряд. При наявності дірки будь-який електрон може зайняти місце дірки, і ковалентний зв'язок в цьому місці відновиться, але буде порушена в тому місці, звідки пішов електрон. Нову дірку може зайняти ще який-небудь електрон (рис. 2.9).

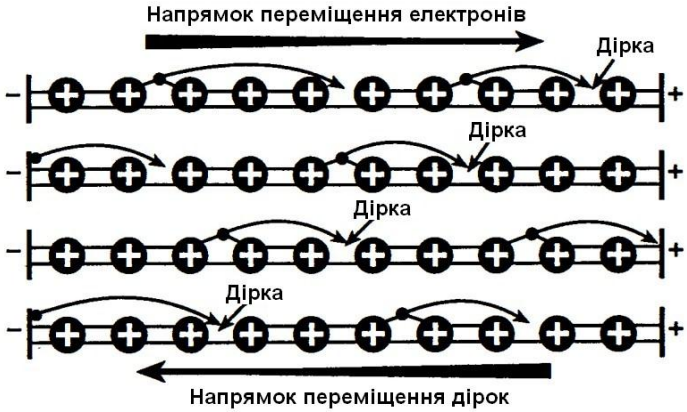


Рисунок 2.9 - Схема руху електронів і дірок в напівпровідниках

Переміщення дірок подібно переміщенню позитивних зарядів, називається дірковою провідністю, або р-провідністю.

Таким чином, при дірковій провідності велике число електронів по черзі заміщають один одного в ковалентних зв'язках.

Постійний і змінний електричний струм.

Електричний струм, який тече в одному напрямку, називається постійним струмом. Електричний струм можливий тільки в замкнутому ланцюзі. Електричний ланцюг постійного струму містить джерело електричної енергії Е, приймач енергії П і два дроти.

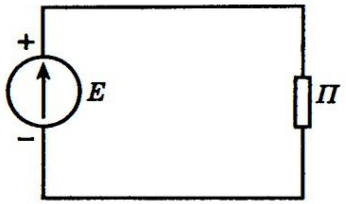


Рисунок 2.10 - Найпростіший електричний ланцюг

Дроти підключаються до джерела електричної енергії, до позитивних (+) та негативних (-) полюсів.

В електротехніці прийнято вважати напрямок струму від позитивного до негативного полюса, тобто від плюса до мінуса (рис. 2.10). Джерело електричної енергії перетворює механічну, хімічну, теплову або іншого виду енергію в електричну.

Приймач електричної енергії перетворюється в механічну, хімічну, теплову, світлову та ін. види енергії. В якості джерел електричної енергії служать генератори, акумулятори та гальванічні елементи.

Приймачами електричної енергії є електричні двигуни, освітлювальні лампи, електрообігрівальні прилади, тощо. З'єднання споживачів струму може бути послідовним, паралельним і змішаним. При послідовному з'єднанні загальний опір ланцюга дорівнює сумі опорів всіх споживачів. Напруга на затискачах ланцюга дорівнює сумі напруг на окремих його ділянках. Величина струму в такому ланцюзі однакова у всіх його ділянках (рис. 2.11).

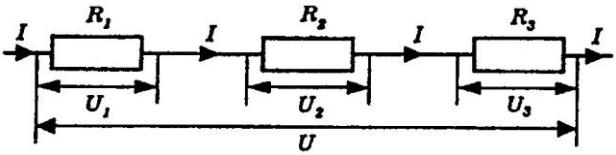


Рисунок 2.11 - Послідовне з'єднання

Недоліком послідовного з'єднання є те, що при виході з ладу будь-якого споживача або при його виключенні дія інших споживачів припиняється. При паралельному з'єднанні струм розгалужується, проходячи одночасно по всім споживачам; всі споживачі знаходяться під однаковою напругою, а загальний опір ланцюга менший за опір будь-якого зі складових його опорів. Чим більше споживачів з'єднані між собою паралельно, тим менше загальний опір ланцюга (рис. 2.12).

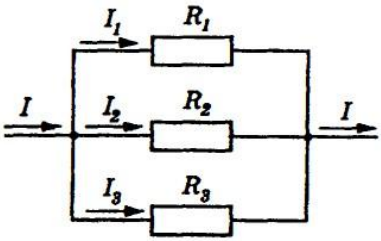


Рисунок 2.12 - Паралельне з'єднання

При паралельному з'єднанні кожен споживач включений на повну напругу джерела струму незалежно від їх числа, і при виході з ладу одного споживача інші не припиняють своєї дії. Саме тому паралельне з'єднання широко використовується в електрообладнанні автомобіля. Змішане з'єднання споживачів струму являє собою поєднання послідовного і паралельного з'єднань.

Одиницею вимірювання величини струму служить Ампер (А). При струмі в 1 А через повний переріз провідника за 1 с проходить заряд 1 Кл. Поряд з Ампером застосовують більш дрібні одиниці сили струму: 1 міліампер (мА) = 0,001 А, 1 мікроампер (мкА) = 0,000 001 А чи 0,001 мА. Отже, 1 А дорівнює 1000 мА або 1 000 000 мкА.

Сила, під дією якої виникає електричний струм, називається електрорушійної силою (ЕРС). Та частина ЕРС, яка витрачається джерелом на зовнішньому ланцюзі, називається напругою.

Одиницею вимірювання ЕРС і напруги служить вольт (В). Прилад для вимірювання напруги називається вольтметром, поєднуючи його з зажимами джерела струму або під'єднуючи його паралельно тій ділянці ланцюга, напругу якого потрібно виміряти.

Електричний струм, напрямок і величина якого безперервно змінюється, тобто струм який періодично, через рівні проміжки часу змінюється як за значенням, так і за напрямком, називається змінним.

Змінний струм відрізняється від постійного тим, що він легко піддається перетворенню. Змінний струм має здатність трансформуватися, тобто за допомогою спеціального пристрою - трансформатора - можна підвищити напругу змінного струму або, навпаки, знизити його. Змінний струм можна випрямити - перетворити в постійний струм. Крім того, двигуни змінного струму відрізняються простотою устрою і малими габаритами.

Електроємність. Конденсатори.

Провідники, що володіють електричним зарядом, є джерелами електричного поля. При зміні заряду провідника відбувається робота, тому й енергетична характеристика провідника (потенціал) відповідно змінюється. Здатність провідника накопичувати електричний заряд залежить від форми і розмірів його поверхні, відстані між провідниками, від властивостей середовища, в яку провідники поміщені. Для вираження цієї залежності введено поняття електричної ємності.

Електрична ємність провідника - величина, що характеризує здатність провідника накопичувати електричний заряд, чисельно рівна відношенню заряду провідника до його потенціалу:

$$C = Q/V, \tag{2.9}$$

де С - електрична ємність, Ф (фарад).

В системі СІ одиницею електричної ємності є Фарада (скорочено Ф), названа на честь англійського фізика М. Фарадея. Однак 1 Ф - це дуже велика ємність. Земна куля, наприклад, володіє ємністю менше 1 Ф. Тому в електротехніці користуються одиницею ємності, що дорівнює мільйонній частки Фаради, яку називають мікрофарада (ско-

рочено мкФ). В одній Фараді 1 000 000 мкФ, тобто 1 мкФ = 0,000 001 Ф, наноФарада 1 нФ = 0,000 000 001 Ф, пікоФарада 1 пФ = 0,000 000 000 001 Ф.

Конденсатори.

В електротехніці, радіотехніці, електроніці широко застосовують пристрої з електричною ємністю, спеціально побудовані і призначені для створення електричного поля і зберігання його енергії.

Елемент електричного ланцюга, призначений для використання його електричної ємності, називається електричним конденсатором. Електричний конденсатор має два провідника (їх іноді називають обкладками), які розділені діелектриком, за формою провідників розрізняють конденсатори плоскі, циліндричні (рис. 2.13).

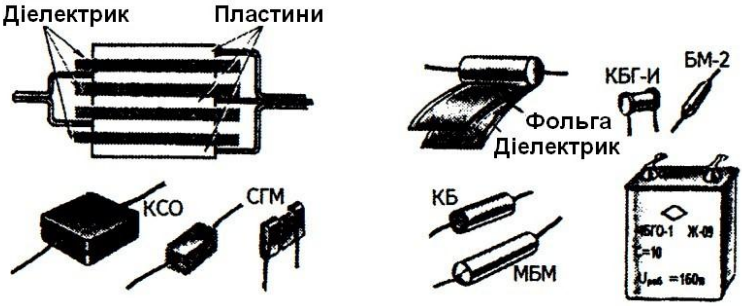


Рисунок 2.13 - Плоскі і циліндричні конденсатори

Ємність конденсатора залежить від його розмірів, форми і діелектричної проникності ε діелектрика. Для визначення ємності плоского конденсатора скористаємося формулою:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \tag{2.10}$$

де S - площа однієї обкладки,

d - відстань між обкладками конденсатора.

У практиці іноді необхідно з'єднувати конденсатори в батареї, для чого застосовують схеми послідовного та паралельного з'єднань (рис. 2.14). При необхідності збільшити ємність, конденсатори з'єднують між собою паралельно. Загальна ємність конденсаторів дорівнюватиме сумі ємностей всіх з'єднаних конденсаторів, тобто:

$$C_{общ.} = C_1 + C_2 + C_3. \qquad (2.11)$$

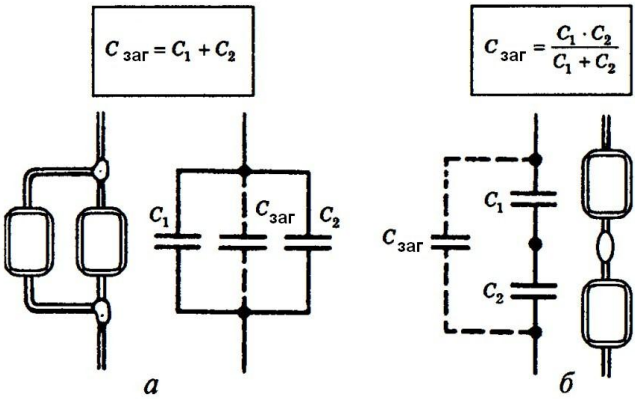


Рисунок 2.14 - Паралельне (а) і послідовне (б) з'єднання конденсаторів

При необхідності зменшити ємність конденсатори з'єднують послідовно. Загальна ємність конденсаторів завжди менше найменшої ємності, включеної в ланцюжок. Вона підраховується за формулою:

$$C_{общ.} = C_1 \cdot C_2 / (C_1 + C_2). \qquad (2.12)$$

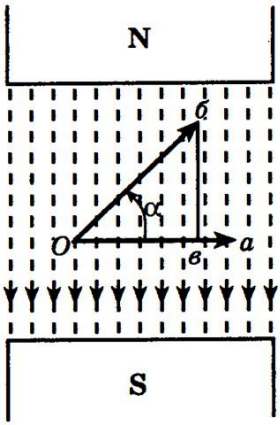


Рисунок 2.15 - Схема переміщення провідника під кутом до напрямку магнітних ліній

Діелектрики, що застосовуються для виготовлення конденсаторів, в більшості випадків мають постійну величину діелектричної проникності, незалежну від напруженості електричного поля. Тому конденсатори мають постійну величину ємності. По виду використовуваного діелектрика конденсатори називають відповідно керамічними, слюдяними, паперовими.

Однофазний і трифазний струм. В даний час для отримання, передачі та розподілу електричної енергії застосовують, в основному, пристрої змінного струму: генератори, трансформатори, лінії електропередач, розподільні електромережі.

Більшість електроприймачів працює на змінному струмі. У практиці, кажучи про змінний струм, мають на увазі синусоїдальний струм, який є синусоїдальною функцією часу. Змінний синусоїдальний струм виникає в ланцюзі під дією електрорушійної сили. ЕРС індукції в прямолінійному провіднику, що перетинає магнітні лінії (рис. 2.15), виражається формулою:

$$e = Blv\sin\alpha, \tag{2.13}$$

де В - магнітна індукція;
l - довжина провідника;
v - швидкість.

Значення змінної ЕРС (а також струму і напруги) в даний момент часу називається миттєвим значенням. Величину ωt, що стоїть під знаком синуса або косинуса, називають фазою коливань:

$$\omega t = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f t, \tag{2.14}$$

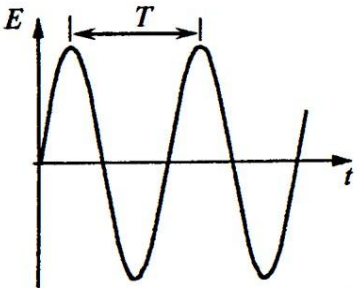


Рисунок 2.16 - Схема періоду коливань

Фаза визначає значення ЕРС в будь-який момент часу *t*. Фаза вимірюється в градусах або радіанах. Проміжок часу, необхідний для здійснення змінної ЕРС повного циклу своїх змін, називається періодом коливань, або періодом. Період позначається *T* і виражається в секундах (рис. 2.16). Число періодів в одну секунду або величина, зворотна періоду, називається частотою коливань або, скорочено, частотою.

Частота позначається $f = 1/T$ виражається в (Гц). У більшості країн промислова частота змінного струму становить 50 Гц. Параметрами електричних ланцюгів змінного струму є активний опір *R*, індуктивність *L* і ємність *C*. Таким чином, схема електричного ланцюга змінного струму характеризується одним з параметрів (*R, L, C*) або комбінацією їх при різних способах з'єднання елементів.

Потужність змінного струму. Як відомо, потужність постійно-

го струму визначається добутком напруги і струму. При змінному струмі як напруга, так і струм періодично змінюються в часі. Отже, в будь-який момент часу потужність, яка дорівнює добутку миттєвих значень напруги і струму ($p = ui$), є також змінною величиною.

При активному навантаженні, коли зсув фаз між напругою і струмом відсутній ($\varphi = 0$ або $\cos \varphi = 1$), потужність являє собою добуток діючих значень напруги і струму і виражається у ватах (або кіловатах, мегаватах і т.д.), тобто $P=UI$.

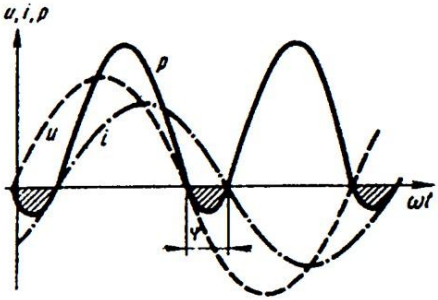


Рисунок 2.17 - Графік миттєвих значень напруги, струму і потужності

У ланцюзі, що містить активний опір та індуктивність, струм відстає по фазі від напруги на кут φ (рис. 2.17) і миттєве значення потужності виявляється як позитивним, так і негативним, тобто навантаження споживає енергію в одну частину періоду і повертає її в мережу в іншу частину. Потужність змінного струму можна представити у вигляді активної і реактивної потужностей. активна потужність споживається активним опором, де відбувається процес перетворення енергії електричної в енергію іншого виду (механічну, світлову, теплову і т.д.).

Активна потужність $P=I^2R$. Маючи на увазі, що $U_a=UI\cos\varphi$, отримаємо $P=UI\cos\varphi$, де U і I - діючі значення напруги і струму; U_a - падіння напруги на активному опорі.

Реактивна потужність накопичується індуктивністю при зростанні струму в ланцюзі у вигляді магнітного поля індуктивної котушки. При зменшенні струму в ланцюзі енергія, накопичена в магнітному полі, перетворюється в електричну і повертається джерелу енергії.

Добуток діючих значень $U, I \sin\varphi$ називають реактивною потужністю:

$$Q = UI\sin\varphi = U_L I = I^2 X_L. \qquad (2.15)$$

Вона виражається в вольт-амперах (або кіловольт-амперах) реактивних (вар або квар). Реактивна потужність не споживається прий-

мачем енергії і не бере участі в процесі перетворення електричної енергії в енергію іншого виду. Ця потужність циркулює між джерелом і приймачем енергії, навантажуючи дроти їх обмоток і ліній, що з'єднують приймач енергії з джерелом, а також збільшуючи втрати енергії в них.

Добуток діючих значень напруги і струму називається повною потужністю *S*, яка виражається в вольт-амперах або кіловат-амперах (В·А або кВ·А), тобто:

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}. \qquad (2.16)$$

Габарити електричних апаратів та машин визначаються повною потужністю, так як перетину обмоточних проводів залежать від струму, що протікає через них, а ізоляція струмопровідних частин - від напруги, під якою вони перебувають.

Відношення активної потужності до повної $P/S=\cos\varphi$ показує, яка частка повної потужності споживається ланцюгом, і називається коефіцієнтом потужності, рівним косинусу кута зрушення фаз між напругою і струмом. При активному навантаженні $\cos\varphi=1$ та $S=P$, тобто електричний апарат або машина має найбільшу активну потужність.

Трифазний струм.

Вище розглянуті властивості однофазного змінного струму. Однак однофазна система неекономічна внаслідок недосконалості однофазних електричних машин. Так, наприклад, при однакових габаритах, масі активних матеріалів (сталі і міді) і втраті енергії, потужність однофазної машини в 1,5 рази менше потужності трифазної машини. Тому для електрифікації використовується трифазна система змінного струму.

Трифазною системою змінного струму, або просто трифазною системою - називається ланцюг або мережа змінного струму, в якому діють три ЕРС однакової частоти, але взаємно зміщені по фазі на третину періоду. Окремі ланцюги, складові трифазної системи, називаються фазами.

Якщо ЕРС у всіх трьох фазах мають однакову амплітуду і зрушені по фазі на однаковий кут, то така трифазна система називається симетричною.

Вперше в світі передача трифазного струму була здійснена ро-

сійським вченим М.О. Доліво-Добровольським в 1891 р.

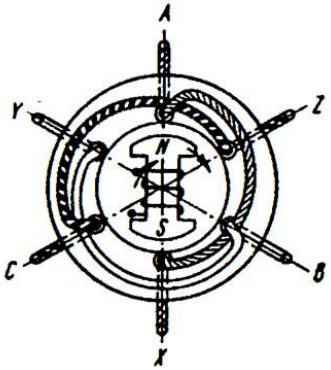


Рисунок 2.18 - Схема устрою трифазного генератора

На рис, 2.18 показана схема пристрою найпростішого двополюсного трифазного генератора. У пазах статора (нерухома частина машини) розташовані котушки *A-X, B-Y і C-Z*, зсунуті в просторі на одну третину кола (120 °).

Усередині статора розміщений ротор (обертальна частина машини), що представляє собою двополюсний електромагніт, що живиться постійним струмом, збуджує магнітне поле.

Ротор приводиться в обертання будь-яким двигуном. Магнітні лінії обертаючись разом з ротором, перетинають провідники котушок, закладених в пазах статора, і індукують в цих котушках ЕРС, що змінюються синусоїдально. Однак синусоїди ЕРС фаз e_A, e_B, e_C, будуть зрушені одна по відношенню до іншої на 1/3 періоду.

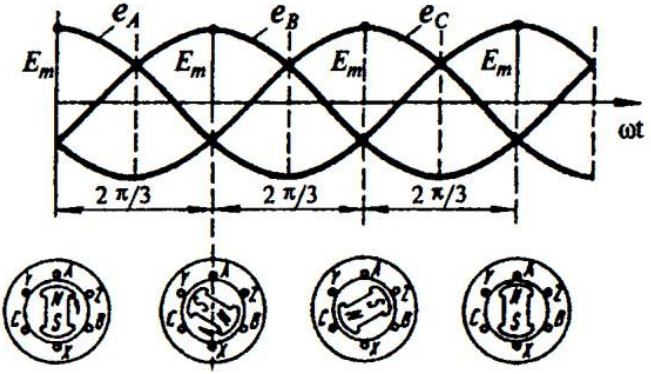


Рисунок 2.19 - Криві зміни ЕРС в трифазній обмотці генератора

Нехай позитивний максимум ЕРС E_m в котушці *A-X* настає в момент, коли сторона *A* виявиться проти центру північного полюса, а сторона *X* - проти центру південного полюса. Позитивний максимум ЕРС E_m в котушці *B-Y* настане в той момент, коли центр північного полюса опиниться під провідником *B*. Для цього ротор повинен пове-

рнутися на 1/3 окружності (120°), що відповідає проміжку часу, рівному 1/3 періоду. Позитивний максимум ЕРС E_m в котушці *C-Z* настане через 1/3 періоду після такого ж максимуму в котушці *B-Y*, що відповідає подальшому повороту ротора на 1/3 окружності.

На рис. 2.19 показані криві зміни ЕРС в котушках *A-X, B-Y, C-Z* і положення ротора, відповідні позитивному максимуму ЕРС E_m в цих котушках. При навантаженні генератора на затискачах котушок *A-X, B-Y, C-Z* встановлюються напруги, звані фазними. Якщо навантаження відсутнє (холостий хід), фазні напруги дорівнюють ЕРС, індукованим в котушках статора.

Електричні вимірювання.

При експлуатації електричних установок доводиться вимірювати ряд фізичних величин: струм, напругу, опір, потужність, частоту і витрати електричної енергії. Для цього застосовують різні прилади електровимірювань. Виміром називають операцію для визначення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою вимірювальних приладів.

Вимірювальні прилади розрізняють за призначенням, згідно роду вимірюваного струму, принципу дії, класу точності, формі корпусу, положенню при вимірах і характером застосування. Електровимірювальні прилади поділяються на амперметри, вольтметри, омметри, ватметри, частотометри та ін.

Вимірювальні прилади можна застосовувати в ланцюгах змінного і постійного струму. Існує кілька систем приладів: електромагнітні, магнітоелектричні, електродинамічні, тощо.

Щоб дізнатися систему даного приладу, досить поглянути на умовний знак на шкалі, де значками і цифрами вказують наступні дані: рід струму, для якого призначений прилад, система приладу, напруга ізоляції, положення при вимірах, клас точності, рік випуску, номер приладу і його приналежність до експлуатаційної групи.

В принципі, не обов'язково все знати про устрій електровимірювальних приладів, для того, щоб вміти ними користуватися. Основні ж правила прості. Амперметр вимірює силу струму, що тече по ланцюгу. Його під'єднують так, щоб цей же струм протікав і через прилад, тобто послідовно з навантаженням, як показано на рис. 2.20.

Амперметр сконструйований так, щоб його внутрішній опір був по можливості мінімальним. Тому, якщо його помилково включити не

послідовно, а паралельно навантаженню, наслідки можуть бути руйнівними. Через малий внутрішній опір через амперметр потече великий струм, який може спалити прилад, а також оплавити ізоляцію підведених проводів.

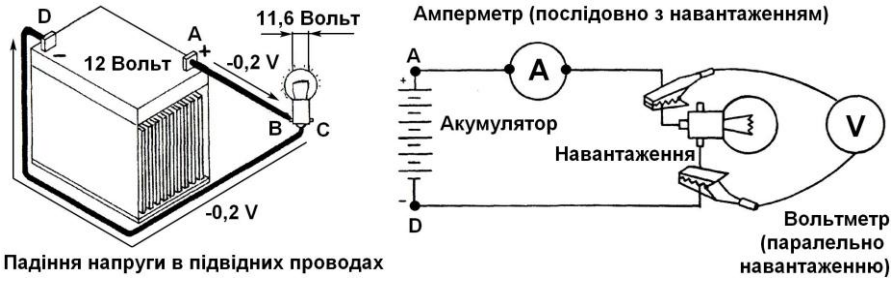


Рисунок 2.20 - Підключення амперметра і вольтметра

Вольтметр, на відміну від амперметра, навпаки, конструюється так, щоб його внутрішній опір був по можливості високим. Тому його важко спалити необережним підключенням.

Вольтметр вимірює напругу (різницю потенціалів) на кінцях елемента ланцюга і його треба підключати паралельно цьому елементу. Наприклад, якщо в схемі на рис. 2.20 вольтметр включити між точками A і D, він покаже напругу акумулятора, між точками B і C - напругу на лампочці, між A і D або між D і C - падіння напруги на проводах.

Іноді прилад забезпечений перемикачем, щоб отримати різні діапазони вимірювання. В цьому випадку слід вибрати такий вимірювальний діапазон, щоб стрілка приладу відхилялася якнайдалі за шкалою (але не зашкалювала). При малих відхиленнях стрілки, порівнянних з товщиною самої стрілки, важко розраховувати на досить високу точність вимірювання.

Будь-які прилади мають похибку вимірювання. Звичайно чим дешевше прилад, тим меншу точність він має. Дуже дешеві прилади взагалі не варто вважати вимірювальними - ними можна користуватися лише як індикаторами.

Дуже корисні в роботі багатофункціональні прилади (мультіметри або тестери). Однак при їхньому використанні треба бути дуже обережним у виборі режимів і діапазону роботи і ні в якому разі не

перемикати режим вимірювання, коли прилад приєднаний до ланцюга. Це пов'язано з тим, що при обертанні перемикача діапазонів в пошуках потрібного діапазону вимірювання напруги, Ви випадково можете увійти в режим амперметра і це буде означати кінець Вашого приладу.

Більшість приладів мають в якості чутливого елемента дротяну котушку, що знаходиться в полі постійного магніту (прилади магнітоелектричної системи). Такі прилади розраховані на вимірювання тільки в ланцюгах постійного струму.

Магнітоелектричні прилади можна пристосувати і для вимірювань в ланцюгах змінного струму введенням в його склад випрямляча.

Питання для самоперевірки

1. З яких частинок складається атом?
2. Сформулюйте закон Кулона.
3. Що таке напруженість електричного поля?
4. Що таке електричний струм?
5. Яка причина електричного опору?
6. В яких одиницях вимірюється опір?
7. Від чого залежить опір провідника?
8. Сформулюйте закон Ома.
9. Що таке магнетизм?
10. Поясніть правило гвинта.
11. Що називається магнітною індукцією?
12. Поясніть правило правої руки.
13. Що таке провідник і напівпровідник?
14. Чому одні матеріали є провідниками, а інші - ізоляторами?
15. Що таке постійний електричний струм?
16. В яких одиницях вимірюється електричний струм?
17. Як розподіляються струми в паралельно з'єднаних провідниках?
18. Чому дорівнює ємність провідника?
19. В яких одиницях вимірюється ємність?
20. Розкажіть про устрій конденсатор?
21. За якою формулою обчислюється ємність плоского конденсатора?
22. Як треба з'єднати конденсатори, щоб їх загальна ємність збільшилася? Зменшилася?
23. Як обчислити загальну ємність конденсаторів при паралельному з'єднанні і послідовному з'єднанні?

24. Що таке миттєве значення ЕРС, струму і напруги?
25. Що називається фазою?
26. Що таке частота?
27. Який зв'язок між періодом і частотою?
28. Дайте визначення трифазної системи змінного струму.
29. Яке з'єднання називається зіркою?
30. Яке з'єднання називається трикутником?
31. Які способи вимірювання потужності трифазної системи ви знаєте?
32. Перерахуйте системи і класи точності вимірювальних приладів.
33. Яка роль коректора і заспокоювача у вимірювальних приладах?
34. Поясніть устрій і принцип дії вимірювальних приладів.

ЛЕКЦІЯ № 3. СИСТЕМИ ОБМІНУ ДАНИМИ В АВТОМОБІЛІ

План лекції. Необхідність шинних систем. Структури шин даних. Основні принципи цифрової передачі даних. Шина даних CAN. Передача сигналів. Процес комунікації. Діагностика. Шина даних LIN. Оптичні шинні системи для передачі даних. Передача сигналів через світловоди. Шина даних MOST. Діагностика шини даних MOST. Шина Byteflight.

Література: [3], [4], [6], [7], [11].

Вимоги до безпеки руху, рівню комфорту при їзді, токсичності відпрацьованих газів (ВГ) і витраті палива постійно зростають. У зв'язку із цим збільшується необхідність усе більш інтенсивного обміну інформацією між блоками управління (БУ) автомобіля.

Протягом тривалого часу в системах автомобілів між різними електричними компонентами використовувалося тільки пряме, аналогове з'єднання. Сигнал, у цьому випадку - напруга, була спрямована у БУ й безпосередньо їм сприймалася. Таким чином, датчик і приймач сигналів були ланками однієї електронної схеми.

З метою зменшення схильності до перешкод і усунення проблем при обробці сигналів була впроваджена широтно-імпульсна модуляція.

Широтно-імпульсна модуляція - це передача параметрів у якості триваючого певний час сигнального імпульсу в заданих інтервалах, що постійно повторюються, у часі. Таким чином уникають зміни сигналу внаслідок опору й перешкод.

Значення сигналу при цьому кодується в якості моменту перемикання протягом певного інтервалу часу, що постійно повторюється. Електричний провід, приєднаний до БУ, тепер вже не повинен передавати точні характеристики сигналу, а тільки включатися й вимикатися. Чим довше він перебуває під напругою, тем вище стає значення, що передається.

Особливістю сучасної техніки є цифрова, бінарна передача сигналу. Аналого-цифровий перетворювач перетворює значення сигналу в цифровий код. Точність перетворення при цьому залежить від кіль-

кості використаних двійкових розрядів, так званих бітів. Електричний провід, приєднаний до БУ, включається й вимикається в більш швидкій послідовності, щоб передати цифровий код. Цей код можна тепер легко зберегти й передавати на інші БУ автомобіля.

Кодовані цифрові сигнали можуть легко й без втрат передаватися на інші БУ. При цьому БУ не потрібно з'єднувати між собою.

Замість цього використовується принцип, уже довгий час застосовуваний у розподільних щитах. Струмоведуча шина, що перебуває в них, постачає електричні компоненти необхідною напругою. Електричні компоненти, образно говорячи, просто «насаджуються» на шину, як, наприклад, пасажири автобуса розсідаються по вільних місцях.

Така струмоведуча шина може використовуватися також і для розподілу цифрової інформації. З'єднання це позначається терміном «Bus», від англійського «Bus-Bar» - «струмоведуча шина».

Загалом, «Bus» є системою проводки з відповідними елементами керування. Вона служить для обміну даними між електронними компонентами.

Донедавна в системах керування кожна інформація передавалася по своєму власному проводу. Тим самим з кожної додатковою інформацією зростало число проводів і кількість контактів на розніманнях БУ. Тому подібний тип передачі інформації виправдовує себе тільки у випадку обмеженого обсягу переданих даних.

Для вирішення завдання обміну великим обсягом інформації було необхідне оптимальне технічне рішення, при якому електронна й електрична системи залишалися б зручними для візуального спостереження й, разом, з тим не займали занадто багато місця.

Сучасні автомобілі мають дуже складну мережну структуру, що забезпечує передачу даних між різними БУ.

Мережна структура транспортного засобу.

У цей час під терміном «мережна структура транспортного засобу» маються на увазі не тільки різні системи проводів або шинної проводки, але й самі БУ, а також правила комунікації й необхідне програмне забезпечення.

Швидкість передачі даних має певні границі. Насамперед, досконалий сигнал прямокутної форми можливий тільки теоретично. На практиці, через такі ефекти, як інерція, самоіндукція й електромагнітне випромінювання, ми одержуємо скоріше трапецієподібне протікан-

ня сигналу.

Відстань між передавачем і приймачем відіграє велику роль. Тому що опір провідника збільшується з його довжиною, сила сигналу поступово зменшується.

Крім того, сигнал змінюється через електромагнітне випромінювання. Для забезпечення якості сигналу була б необхідна висока напруга. Це збільшило б, у свою чергу, споживання потужності, а також випромінювання. Крім того, збільшення напруги призвело б до зменшення швидкості у зв'язку з інерцією.

Для інтерпретації сигналу прийомопередавач з функцією приймання даних орієнтується на певну граничну напругу. Якщо сигнал у момент прийому перевищує або не досягає відповідної граничної напруги, то він визначається як 0 або 1.

Конфігурація мережних структур.

Якщо шина виконана як однопровідна лінія, то, незважаючи на те, що вона дешева й проста, швидкість передачі даних у ній обмежена. Тому що сигнал вимірюється стосовно маси транспортного засобу, він відносно сильно підданий впливу перешкод. Необхідна висока потужність для передачі цього сигналу.

На дворовідних лініях сигнал передається як різниця напруг між обома проводами. Завдяки цьому відбувається сильне демпфірування перешкод. Таким чином, напруга зменшується, а швидкість передачі даних збільшується. Але з іншого боку, двопровідні лінії дорожчі й складніші.

Світловоди несприйнятливі до електромагнітних ефектів. Тому можливі гранично високі швидкості передачі даних. Однак світло може надходити й виходити тільки на площинах перетину проводу. Якщо з однієї сторони проводу перебуває джерело світла для посилання сигналу, то з іншої сторони повинен перебувати світлочутливий елемент із функцією приймання сигналу. Передача сигналу в цьому випадку є односпрямованою, тобто вона можлива тільки в одну сторону. Для передачі сигналу у зворотну сторону необхідний другий провід, а в кожному прийомопередавачі - джерело світла й елемент із функцією прийому сигналу.

Передача даних за допомогою радіозв'язку робить зовсім непотрібними наявність електропроводів, що з'єднують прийомопередавачі. Але надійність передачі даних тут досить обмежена. Різні пристрої

створюють один одному перешкоди. Швидкість передачі даних тут не вище, чим в електронних шинах.

Шинні системи підрозділяються на різні класи, насамперед з погляду можливих швидкостей передачі даних. Для класифікації важливу роль відіграє також надійність передачі даних. Позначення класів не слід плутати з позначеннями CAN-шин. Ці позначення спочатку були пов'язані один з одним, але потім велися довільно. Класифікація шин передачі даних представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Класи шин передачі даних

Класи шин передачі даних	Діагностичні шини	Клас A	Клас B	Клас C	Клас C +	Клас мультимедіа
Швидкість передачі даних	<10 Кбіт / с	<25 Кбіт / с	25-125 Кбіт / с	125 Кбіт / с - 1 Мбіт/с	> 1 Мбіт/с	> 10 Мбіт/с
Галузь застосування	Підключення діагностичного обладнання	Системи забезпечення комфорту (управління сидіннями, склопідйомниками)	Система кондиціювання повітря	Системи приводу / ходової частини	Гальмівна система, рульове управління	Центральний монітор, аудіо-, відео навігаційна системи, телефон

У класі діагностики допускаються дуже низькі швидкості передачі даних. Надійність передачі даних не має особливого значення. У випадку появи помилок передача даних проводиться повторно.

Так званий клас A може бути небагато швидше, але використовується він тільки для некритичних завдань, таких як сигнал склопідіймача або прості сигнали перемикачів.

У класі B шинні системи досягають уже значних швидкостей. Ці шини використовуються в автомобілебудуванні головним чином в електронних системах забезпечення комфорту.

Шини класу C можуть відрізнятися високою швидкістю й надійністю передачі даних. Вони використовуються в області трансмісії й електроніки ходової частини транспортних засобів.

Для критичних з погляду надійності завдань використовуються шини класу C+. При передачі даних у гальмових системах і системах рульового керування втрата даних неприпустима, крім того, ці дані повинні передаватися дуже швидко.

Шини класу мультимедіа очолюють класифікацію в розряді

швидкості передачі даних. Цього вимагає величезний обсяг даних для аудио- і відеосистем. Надійність передачі тут не є критичним параметром.

Існують різні можливості для з'єднання БУ, так звані топології. Найпростіше з'єднання - це з'єднання двох пристроїв на кінцях електропроводу. Таке з'єднання називають повузловим, тобто від одного вузла до іншого, або з'єднання «Peer to Peer». Часто зустрічається з'єднання кількох пристроїв. Шина на кінцях, як правило, повинна бути закрита резисторами, щоб перешкодити відбиттю сигналу. При з'єднанні зіркою головний вузол окремо з'єднується з іншими пристроями. Якщо вузол являє собою тільки з'єднання проводів, так званий розподільник потенціалів, то у випадку з'єднання зіркою мова йде практично тільки про дуже короткий плоский провід.

Якщо ж головний вузол є блоком керування з уведеннями для периферійних пристроїв, то мова йде про декілька повузлових з'єднань.

З'єднання кільцем застосовуються, наприклад, при використанні світловодів у якості середовища передачі даних. Якщо кожний пристрій передає прийняті світлові імпульси далі, усі прилади можуть «спілкуватися» між собою. У такому випадку мова йде практично про замкнений ланцюг односпрямованих повузлових з'єднань.

Можливі способи з'єднання БУ представлені на рис. 3.1.

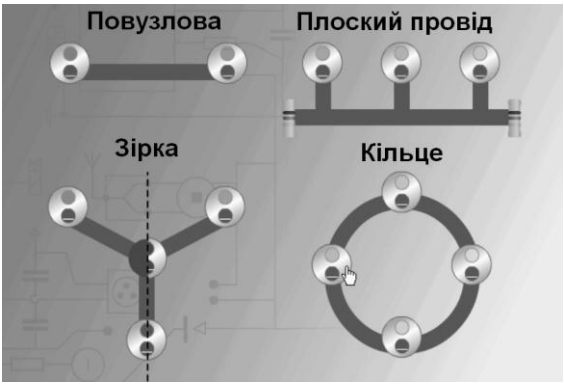


Рисунок 3.1 - Способи з'єднання БУ

При комунікації між БУ передача лише самих даних недостатня. Необхідна також інформація про те, яке значення мають передані дані

або від якого датчика ці дані виходять, який вони мають пріоритет, чи потрібне їх передавати іншим БУ.

БУ додає до первісних даних таку інформацію, як ідентифікаційний номер або пріоритетність переданих даних. Прийомопередавач зі своєї сторони також додає інформацію, що дозволяє робити остаточну передачу даних. До такої додаткової інформації відносяться, наприклад, біти синхронізації.

Їхні імпульси дають можливість відкоригувати тактові сигнали приймача для дійсно синхронної роботи з передавачем. Часто попередньо передається довжина повідомлення. Так приймач довідується, у який момент закінчиться повідомлення, а разом з ним і передача даних. За допомогою додаткових контрольних даних приймач може встановити, чи коректно було отримане повідомлення.

Уся ця інформація й, можливо, велика кількість іншої інформації перебуває в довгому ланцюзі бітів. Приймач повинен знати, де і яка інформація перебуває в цьому ланцюзі, щоб в остаточному підсумку відфільтрувати головні дані.

Тому існують стандартизовані зразки, по яких повинні структуруватися повідомлення. Такий зразок називають протоколом. У цей час використовуються різні протоколи для всіляких видів застосування. Прийомопередавачі, що працюють із різними протоколами, не будуть «розуміти» один одного.

Вид передачі даних є важливим критерієм для відмінності шинних систем. Синхронну передачу даних можна зрівняти з телефонною розмовою. У той час, коли один абонент говорить, інший його уважно слухає й намагається відразу ж обробити почуту інформацію. Недоліком синхронної передачі даних все-таки є те, що її не можна перервати. У момент передачі шина зайнята БУ й приймачі залишаються заблокованими до моменту повної передачі повідомлення. Часто після передачі даних передавач чекає підтвердження про одержання інформації й починає передачу всіх даних заново, якщо таке підтвердження відсутнє або надходить інформація про помилкову передачу даних.

Асинхронну передачу даних можна, швидше за все, зрівняти з перепискою. У цьому випадку передаються короткі повідомлення після закінчення певного часу. Ці повідомлення спочатку збираються в БУ, а потім ним же обробляються. Між повідомленнями шина може бути використана іншим БУ для передачі інших повідомлень. Завдяки цьому навантаження на шину розподіляється рівномірно. Таким чи-

ном, велика кількість інформаційних даних може передаватися швидко й у повному обсязі.

Для того щоб робота прийомопередавачів залишалася ритмічною, у потік інформаційних даних час від часу додаються синхронізаційні імпульси. Але кількість так званих керуючих даних у порівнянні з кількістю інформаційних даних незначна. Так звані керуючі дані додаються навіть до зовсім невеликих повідомлень, що значно збільшує загальний обсяг переданих даних.

БУ не повинні одночасно передавати дані на шину. У таких випадках повідомлення знищуються. Цей процес називається зіткненням. Тому доступ до шини повинен регулюватися.

При передачі у системі, даних що задають і ведених пристроїв, роль того що задає бере на себе один БУ, який стає ведучим для всіх інших ведених БУ. Тільки цей БУ може самостійно передавати дані на шину.

У регулярних відрізках часу цей БУ посилає запити іншим блокам керування. Протягом короткого проміжку часу кожний із запитуваних БУ має можливість відповісти на запит і передати повідомлення. З метою прямих запитів усі відомі БУ повинні бути зареєстровані в БУ, що задає. Тому в сучасних системах при використанні шини необхідна фаза ініціалізації.

При керуванні доступом на рівні протоколу або передачі повідомлень усі БУ можуть рівноправно передавати дані на шину, якщо в цей момент не відбувається передача даних.

Якщо два пристрої одночасно починають передавати дані, то в цей момент ухвалюється рішення, який з них може продовжувати цю операцію. Інший БУ затримує своє повідомлення. Для ухвалення рішення може, наприклад, послужити група двійкових знаків спочатку процесу передачі даних, яка вказує на пріоритетність передачі. При цьому так званому арбітражі може відбутися наступне: повідомлення з низькою пріоритетністю зберігаються довгий час і, в остаточному підсумку, передаються занадто пізно. Тому використовується керований арбітраж, який гарантує своєчасну передачу інформації.

У кожному транспортному засобі часто використовується відразу кілька шинних систем. Яка система призначена для тої або іншої ділянки є рішенням, що залежать від багатьох факторів.

Саме середовище передачі даних відіграє певну роль. Скловолокнисті кабелі, наприклад, дуже легкі й дозволяють високі швидкості

передачі даних. Але в той же час, вони дуже чутливі і їх не можна прокладати по гострих кутах. Максимальна дистанція, на якій шина може працювати безпомилково, є важливим критерієм відбору. У вантажному автомобілі, наприклад, потрібно кілька метрів електропроводів для з'єднання БУ в передній частині з БУ в задній частини автомобіля. Деякі шинні системи можуть застосовуватися тільки на коротких відстанях.

Іноді з'єднання двох БУ між собою виявляється цілком достатнім. Яка кількість БУ може обслуговувати шинну систему також є важливим питанням.

Для аудіо- і відеоданих, а також для систем, що забезпечують безпеку, важливим фактором є швидкість передачі даних. З іншого боку, для обслуговування функцій зміни положення сидінь достатньою є невелика швидкість передачі даних. Шина повинна враховувати ці вимоги. Надійність передачі даних у деяких випадках важливіша швидкості їх передачі. Помилки при передачі даних у гальмовій системі можуть мати фатальні наслідки. З іншої сторони існують випадки застосування, коли перешкоди й затримки через помилки при передачі інформаційних даних не є критичними.

Немаловажним є також і те, як система інтегрується в існуючу структуру автомобіля і його технічне обслуговування з погляду використовуваних протоколів, керування доступом і відносин керуючих даних до даних для користування.

Огляд шинних систем.

К - провід (однополосна шина даних).

К-лінія або К-шина є попередником усіх шинних систем, застосовуваних у європейських автомобілях. К-лінія використовується для діагностики й офіційно стандартизована ще в 1989 році. До її переваг відносяться просте виконання й можливості підключення до комп'ютера. У більшості випадків К-лінія складається тільки з одного електропроводу. Напруга сигналу є робочою напругою транспортного засобу стосовно його маси. Максимальна довжина К-лінії не специфікована. К-лінія призначена винятково для виконання діагностичних функцій у двонаправлених з'єднаннях із двома учасниками. На сучасних вантажних автомобілях модифікована К-лінія застосовується для з'єднання декількох БУ.

Швидкість передачі даних такої шини становить від 1.2 до 10.4 Кбіт/сек, оскільки К-лінія використовується тільки в діагностичних

цілях, надійність передачі даних тут не так важлива. Завдяки простим і давно стандартизованим технічним параметрам витрати залишаються мінімальними.

К-лінія працює за асинхронною схемою передачі даних з керуванням доступом у режимі «задаючий / ведений». Тому що шина, не розрахована на великі швидкості передачі даних, прийом одного повідомлення при певних обставинах може тривати до 5 секунд.

В 1989 році К-лінія стандартизована як ISO 9141.

Технологія CAN.

Скорочення «CAN» означає Controller Area Network. Технологія CAN була розроблена фірмою Bosch у другій половині 80-х років XX ст. для надійної передачі даних вимірів, керування й контролю. В 1991 р. система CAN уперше застосована в якості шини передачі даних класу С у транспортних засобах і відтоді добре себе зарекомендувала. Стандарт CAN описаний у нормі ISO 11898.

У системі CAN використовується кручена двопровідна лінія. Рівень сигналу являє собою різницю напруг між проводами. Завдяки цьому CAN не так сильно піддана перешкодам і не створює перешкоди для інших БУ. При низьких швидкостях передачі у випадку розриву одного проводу шина може функціонувати навіть із одним проводом.

Довжина проводки залежить від швидкості передачі даних. При цьому головну роль відіграє час поширення сигналу. При 1 Мбіт/сек довжина CAN-шини може досягати 40 метрів, а при 10 Кбіт/сек довжина теоретично може досягати більше 1 км.

Тому що керування доступом відбувається на рівні повідомлення, кількість БУ, у принципі, не обмежена. У практиці все-таки існують обмеження відповідно до виконання прийомопередавачів.

Як і у випадку з напругою сигналу, швидкості передачі даних у системі CAN не передбачені. В електронних системах автомобілів «Мерседес-Бенц» використовуються шини CAN з низькою й високою швидкістю (Lowspeed-CAN / Highspeed-CAN). Швидкість передачі даних Lowspeed становить до 125 Кбіт/сек, Highspeed-CAN - більше 125 Кбіт/с.

Застосовуються різні механізми запобігання, розпізнавання й коректування помилок. З їхньою допомогою БУ можуть попереджати про помилкові повідомлення або відключатися при встановленні помилки під час передачі даних. Тому технологія CAN вважається са-

мою надійною технологією.

Завдяки простим і давно стандартизованим технічним параметрам витрати на виробництво й експлуатацію цих шин є мінімальними. Тому в цей час CAN застосовується навіть у якості діагностичних шин. Технологія CAN функціонує синхронно. Керування доступом здійснюється за допомогою арбітражу на рівні повідомлень. Кожне можливе повідомлення в системі має однозначний код упізнавання, перший біт якого одержує пріоритетний статус. Якщо два пристрої передають дані одночасно, першочерговість передачі автоматично переходить до пріоритетного повідомлення. Для обов'язкового визначення коду впізнавання кожного повідомлення резервуються 29 бітів. Отже, короткі повідомлення містять більше керуючих даних, ніж даних для користування.

Технологія LIN.

Технологія LIN (Local Interconnent Network) розроблена спільними зусиллями різних виробників автомобілів наприкінці 90-х років як більш дешева альтернатива до технології Low-Speed-CAN. Технологія LIN застосовується скрізь, де не потрібна ширина смуги пропущення й універсальність технології CAN.

Фізично LIN структурована як K-провід. На одному проводі рівень сигналу визначається при робочій напрузі транспортного засобу стосовно його маси. Довжина лінії обмежена до 40 м. Цього досить для використання шини LIN усередині одного локального вузла автомобіля. На відміну від K-проводу технологія LIN допускає з'єднання до 16 БУ. Швидкість передачі даних у такій шині становить від 1 Кбіт/сек до 20 Кбіт/сек. У шинах LIN автомобілів «Мерседес-Бенц» швидкість передачі даних від 9,6 до 20 Кбіт/сек.

Технологія LIN призначена для використання в некритичні з погляду безпеки системах. Для LIN існує кілька механізмів для розпізнавання й коректування помилок. Витрати на виробництво й експлуатацію незначні, що властиво й було метою розробки. Протокол LIN також схожий на протокол K-лінії.

Технологія MOST.

Шини MOST (Media Oriented Systems Transport) використовуються в цей час на автомобілях для передачі даних між такими системами як радіоприймач, CD-плеєр, телефон, навігаційні системи й бортове телебачення. Такі шини дозволяють передавати великий обсяг інформації. Технологія MOST уперше розроблена компанією Oasis

Silicon Systems, пізніше - заснованої в 1998 році організацією MOST-Cooperation, яка стандартизувала її в сфері створення мультимедійних мережних структур у транспортних засобах.

У технології MOST використовуються світловоди. Вони допускають екстремально високі швидкості передачі даних при абсолютній несприйнятливості до електромагнітних перешкод. Довжина лінії не специфікована. Максимально можливо підключити до 64 різних мультимедійних компонентів, які з'єднані, як правило, у вигляді кільця.

Швидкість передачі даних рівна 25 Мбіт/сек і вважається дуже високою. Надійність передачі даних у шинах MOST не є основною, тому що ця технологія розроблена для некритичних з погляду безпеки систем. Однак кільцева структура, у якій з'єднані світловоди, спричиняє небезпеку роз'єднання ланцюга у випадку виходу з ладу одного з компонентів.

Технологія MOST є відносно дорогою технологією. Але через застосування головним чином у системах забезпечення комфорту автомобілів представницького класу, витрати виправдовують себе.

Технологія Bluetooth.

Bluetooth, розроблена фірмою Ericsson, поєднує радіо технології й технології електронних мереж. За допомогою Bluetooth можливо створювати невелику безкабельну мережну структуру.

У якості середовища-носія використовуються радіохвилі в неліцензованому діапазоні частот 2.4 ГГц. Цей діапазон використовується також у безкабельних телефонах і мікрохвильових печах. Із цієї причини технологія Bluetooth дуже чутлива до перешкод. Залежно від потужності сигналу, максимальна відстань між пристроями може становити від 1-10, до більше 100 метрів.

Технологія Bluetooth дозволяє створювати мережні структури, у які можуть поєднуватися до 260 пристроїв, але активними можуть залишатися одночасно не більше 8. Інші пристрої підтримують синхронізацію й можуть бути активовані по запиту.

Швидкість передачі даних дуже висока й становить більш 700 Кбіт/сек. Але така швидкість досягається тільки при ідеальних умовах. Часто підключені пристрої створюють перешкоди один одному й швидкість передачі по Bluetooth сильно зменшується.

Через чутливість до перешкод технологію Bluetooth не можна розглядати як високонадійну технологію. Однак різні пристрої легко підключаються до цієї системи передачі даних.

Для технології Bluetooth використовуються готові мікрокристалічні модулі, що дозволяють просте застосування. Однак технологія Bluetooth залишається відносно дорогою в порівнянні зі звичайними технологіями підключення в мережні структури. Основні характеристики розглянутих шин передачі даних зведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Характеристики шин передачі даних

Тип шини	Середовище передачі даних	Відстань передачі	Кількість пристроїв	Швидкість передачі
К-провід	1-провідна	Без специфікації	2	1,2 - 10,4 Кбіт / сек
CAN	2-провідна	Кілька сотень метрів	>100	10 Кбіт / сек - 1 Мбіт / сек
LIN	1-провідна	До 40 м	Макс. 16	1 - 20 Кбіт / сек
MOST	Світловоди	Без специфікації	Макс. 64	25 Мбіт / сек
Bluetooth	Радіохвилі	Кілька метрів	Макс. 260	700 Кбіт / сек

Інші системи передачі даних.

Крім згаданих вище, зустрічаються ще системи D2B, RS485, ASIC і LVDS.

Система D2B - розроблена фірмою Philips в якості мультимедіальної шинної системи. Вона допускає швидкості передачі даних до 5 Мбіт/сек. D2B була в значній мірі витиснута технологією MOST.

Система RS485 - є модернізованим варіантом системи RS232, що успішно зарекомендувала себе в комп'ютерному світі. Ця система дозволяла тільки прямі двонаправлені з'єднання між двома пристроями. Її модернізований варіант RS485 допускає з'єднання до 32 прийомопередавачів. Ця система, що працює в режимі асинхронної передачі зі швидкістю до 10 Мбіт/сек, є вигідною з економічної точки зору альтернативою до технології CAN, застосовуваної в промисловості. В автомобілях вона використовується для з'єднання таксометра автомобіля-таксі на салонному дзеркалі заднього виду.

Система ASIC - застосовується в панелі керування вантажного автомобіля «Мерседес-Бенц» Actros. Кожний перемикач має свій установлений код, який учасник системи ASIC, що задає, використовує в запитах. Таким чином, панель керування може розширюватися додатковими перемикачами. Швидкість передачі даних 30 Кбіт/сек, представляється цілком достатньою для такого застосування.

Система LVDS.

Скорочення «LVDS» (Low Voltage Differential Signal), означає «диференціальний сигнал низької напруги». Передача даних відбувається завдяки швидкому перемиканню полюсів двох проводів з різницею напруг усього лише в 0,3 В. Тому що електромагнітні ефекти при цьому незначні, можливе досягнення швидкості передачі даних завбільшки кілька сотень Мбіт/сек. Система LVDS знаходить застосування, наприклад, при передачі зображень у приладі нічного бачення в автомобілі «Мерседес-Бенц» нового S-Класу.

Далі розглянемо докладніше устрій шини передачі даних CAN.

Шина передачі даних CAN-Datenbus.

Мережна конфігурація CAN- Datenbus.

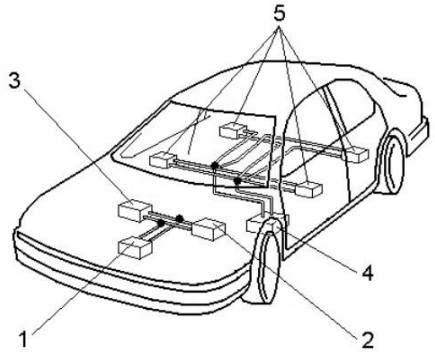
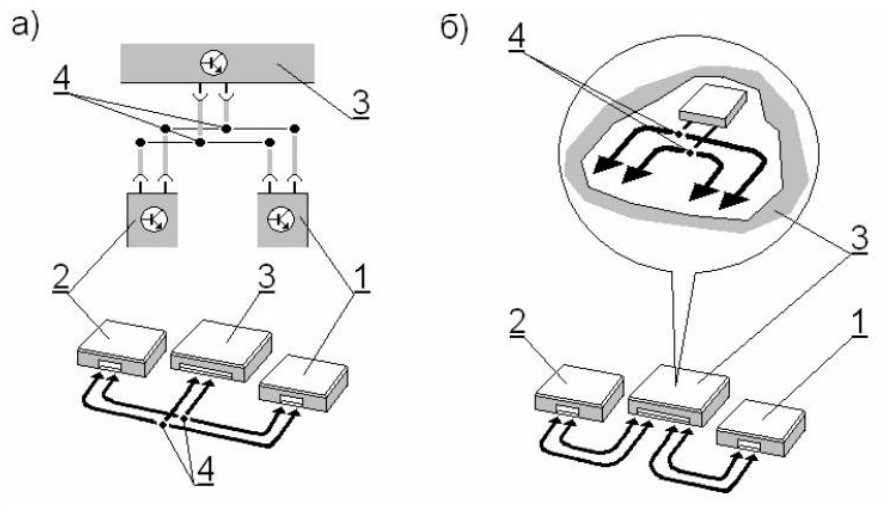


Рисунок 3.2 - Схема зв'язку блоків керування CAN-шиною

З 1980 року цифрова електроніка почала свій бурхливий розвиток. На транспортних засобах усе більше стали застосовуватися електронні БУ. Для організації комунікації між різними БУ фірма Bosch розробила CAN-шину (CAN-Datenbus), де CAN розшифровується як Controller Area Network. Це значить, що блоки керування зв'язані між собою в єдину мережу (рис. 3.2) і між ними відбувається обмін даними по спеціальній шині.

Елементи привода автомобіля складають єдину систему, куди входять: блок 1 керування двигуном, блок 2 керування АКП, блок 3 керування системами ходової частини. При цьому можливі варіанти з'єднання БУ між собою в єдину мережу (рис. 3.3). Так, вузловий пункт перебуває, як правило, за межами БУ, у джгуті проводів (рис. 3.3, а).



а - вузловий пункт перебуває за межами БУ,
б - вузловий пункт перебуває в БУ двигуном,
1 - БУ гальмовою системою, 2 - БУ АКП,
3 - БУ двигуном, 4 - вузловий пункт

Рисунок 3.3 - Варіанти з'єднання блоків керування в єдину мережу

У виняткових випадках вузловий пункт може перебувати усередині БУ двигуном рис. 3.3, б. Комфортні елементи також становлять єдину систему, що включає в себе центральний блок 4 (рис. 3.2) керування й блоки 5 керування у дверях.

При обміні інформацією за допомогою CAN-шини всі дані передаються по двом двонаправленим проводам (що передають повідомлення в обидва боки), незалежно від кількості даних і БУ. У цьому випадку передача даних відбувається аналогічно телефонному «конференц-зв'язку», де один учасник (блок керування) «говорить» свої дані в провідну мережу, у той час як інші учасники «слухають» ці дані. Одні учасники знаходять ці дані цікавими для себе й будуть їх використовувати, інші - ні. Чим більше інформації про стан усієї системи втримується в БУ, тим краще він може погоджувати окремі функції системи.

Таким чином, шина передачі даних має наступні переваги:

- якщо протокол даних передбачається розширити за рахунок додаткової інформації, то не потрібно вносити зміни в про-

грамне забезпечення;

- низька квота помилок у результаті постійного повторного огляду інформації, переданої через БУ;
- менша кількість датчиків і проводів завдяки можливості багаторазового використання одного сигналу;
- між БУ можлива дуже швидка передача даних;
- економія місця за рахунок зменшення розмірів БУ й рознімань для підключення БУ;
- CAN-шина прийнята до використання в усьому світі, тому через неї може відбуватися обмін даними між БУ, виготовленими різними виробниками.

Комунікацію між БУ забезпечують так звані прийомопередавачі, що з'єднують їх із шиною. Вони інтегровані в БУ, але являють собою самостійні компоненти, що посилають дані, й ті що приймають.

БУ з функцією посилки даних підготовляє дані для свого прийомопередавача. У певному ритмі біти перетворюються в електричний сигнал і подаються в шину.

Прийомопередавач блоку з функцією прийому даних обов'язково повинен працювати в такому ж ритмі. Він вимірює сигнал шини й генерує відповідні біти, подаючи їх до БУ. Прийомопередавачі повинні бути синхронізовані. Ритм, що вказує на кількість бітів, які можуть передаватися за одну секунду, є швидкістю передачі даних. Швидкість передачі даних позначається в кіло- або мегабітах за секунду. Одиниця виміру «Біт/сек» позначається також терміном «бод». Тривалість часу одного біта називають «час Біт».

CAN-шина складається з наступних компонентів (рис. 3.4): по одному контролеру й трансіверу в БУ, двох опорів і двох проводів передачі даних. За винятком проводів усі компоненти розташовуються в БУ. Незважаючи на це в роботі БУ не відбулося ніяких змін. Зазначені компоненти шини виконують наступні функції:

Контролер - з однієї сторони одержує від БУ дані, які повинні бути передані, обробляє їх і передає далі на трансівер. З іншої сторони він одержує дані від трансівера й після відповідної обробки передає їх у БУ. Трансівер (Transceiver) - є одночасно передавачем (Transmitter) і приймачем (Receiver).

Дані що надходять від контролера він перетворює в електричні сигнали й посилає їх по проводах передачі даних. При цьому він також приймає дані й перетворює їх для контролера.

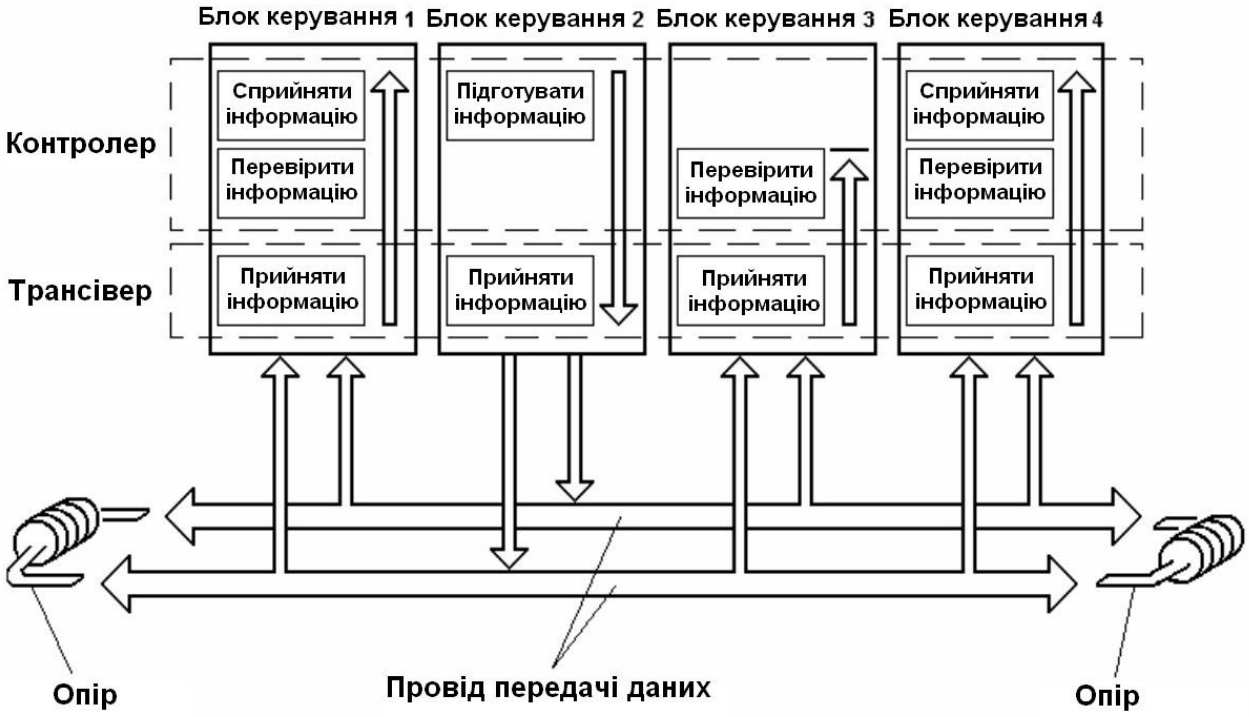


Рисунок 3.4 - Функціональна схема CAN-шини

Дані в системі привода, щоб їх можна було використовувати з максимальною ефективністю, повинні передаватися дуже швидко. Для цього потрібен трансівер с високою потужністю. Такий трансівер уможливлює передачу даних у проміжку між двома спалахами в системі запалювання. Тим самим сприйняті дані можуть бути використані вже для наступного керуючого імпульсу.

Опір - перешкоджає виникненню ефекту резонансу при передачі даних. Проводи передачі даних - є двонаправленими й служать для передачі даних, позначаються як CAN-High і CAN-Low.

Передача інформації із застосуванням CAN-шини відбувається в такий спосіб (рис. 3.4). Один з БУ (блок 2) підготовляє інформацію й передає її на проводи передачі даних. При цьому «приймач» переданої інформації не вказується, і вона приймається й оцінюється всіма блоками керування (блоки 1, 3, 4).

Розглянемо тепер кожну з функцій, виконуваних блоками керування й представлених на рис. 3.4.

Підготувати інформацію - дані обробляються БУ 2 і підготовляються для передачі контролером.

Передати інформацію - трансівер БУ 2 одержує інформацію від контролера, перетворює її в електричні сигнали й передає далі.

Прийняти інформацію - усі інші блоки керування (блоки 1, 3, 4), що утворюють із CAN-шиною єдину мережу, виконують роль приймачів.

Перевірити інформацію - блоки керування 1, 3, 4 перевіряють, чи потрібна їм для роботи інформація, що надійшла,.

Сприйняти інформацію - якщо інформація важлива, вона сприймається й переробляється (блоки 1, 4), а якщо ні, то - залишається без уваги (блок 3).

Таким чином, передача даних CAN-шиною має наступні особливості:

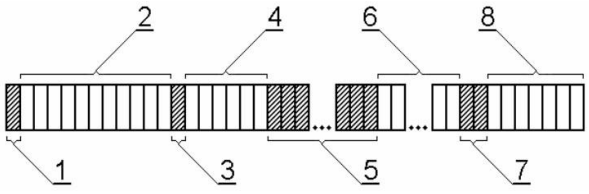
- CAN-шина має два проводи, по яких передається різна інформація. При цьому щоб послабити електромагнітні перешкоди, а також випромінюючі перешкоди, обоє проводи передачі даних скручені між собою. При цьому важливий крок скручування;
- CAN-шина може працювати зі швидкістю 500 Кбіт/сек. Ця швидкість укладається в діапазон швидкостей high speed 125…1000 Кбіт/сек. Передача одного протоколу даних три-

ває близько 0,25 мс;

- залежно від БУ через кожні 7…20 с здійснюється спроба відправити дані;
- послідовність пріоритетів у передачі інформації: 1 - БУ гальмовою системою; 2 - БУ двигуном; 3 - БУ АКП.

Протокол даних.

CAN-шина передає протокол даних, що складається з безлічі впорядкованих бітів, між блоками керування. Біт - це найменша одиниця інформації, тобто одне включення в одиницю часу. В електроніці ця інформація може мати значення «0» або «1», відповідно «так» або «ні». Протокол даних (рис. 6.4) містить сім областей (полів). Число бітів одного протоколу залежить від величини поля даних 5.



1 - початкове поле (1 біт), 2 - поле визначення статусу (11 біт),
3 - один біт не використовується, 4 - контрольне поле (6 біт),
5 - поле даних (максимально 64 біт), 6 - поле захисту (16 біт),
7 - поле підтвердження (2 біт), 8 - завершальне поле (7 біт)

Рисунок 3.5 - Структура протоколу даних

Структура протоколу ідентична для обох проводів передачі даних CAN-шини.

Розглянемо призначення кожного з полів протоколу даних.

Початкове поле 1 - відзначає початок протоколу даних. По проводу CAN-High посилає один біт інформації, при цьому величина сигналу порядку 5 В (визначається системою). По проводу CAN-Low посилає один біт інформації, величина сигналу якого 0 В.

У полі визначення статусу 2 установлюється пріоритет протоколу даних. Якщо, приміром, два БУ одночасно прагнуть відправити свій протокол даних, перевагу має протокол з більш високим пріоритетом. У контрольному полі 4 позначене число інформаційних повідомлень, що перебувають у полі даних. Таким чином, кожний приймач може перевірити ще раз, чи всі інформаційні повідомлення він

прийняв. У полі даних 5 власне й відбувається передача (трансляція) інформаційних повідомлень для інших БУ. З наведеної табл. 3.3 можна побачити, як з кожним додатковим бітом подвоюється обсяг переданої інформації, на прикладі температури охолодної рідини автомобільного двигуна (значенню «0» відповідає сигнал 0 В, а «1» - 5 В).

Таблиця 3.3 - Подвоєння обсягу переданої інформації з кожним додатковим бітом

Варіанти з 1 бітом	Можлива інформація	Варіанти з 2 бітами	Можлива інформація	Варіанти з 3 бітами	Можлива інформація
0 В	10 °С	0 В, 0 В	10 °С	0 В, 0 В, 0 В	10 °С
5 В	20 °С	0 В, 5 В	20 °С	0 В, 0 В, 5 В	20 °С
–	–	5 В, 0 В	30 °С	0 В, 5 В, 0 В	30 °С
–	–	5 В, 5 В	40 °С	0 В, 5 В, 5 В	40 °С
–	–	–	–	5 В, 0 В, 0 В	50 °С
–	–	–	–	5 В, 0 В, 5 В	60 °С
–	–	–	–	5 В, 5 В, 0 В	70 °С
–	–	–	–	5 В, 5 В, 5 В	80 °С

У табл. 3.4 дана приблизна побудова інформації про положення дросельної заслінки автомобільного двигуна за допомогою 8 Біт. При цьому можливо 256 різних варіантів послідовності бітів. Завдяки цьому передається інформація про положення дросельної заслінки в діапазоні від 0° до 102° з інтервалом в 0,4°.

Поле захисту 6 служить для розпізнавання перешкод, що виникають у процесі передачі даних. У полі підтвердження 7 приймачі підтверджують передавачу коректне приймання протоколу. При наявності помилки приймачі негайно сповіщають про це передавачу, і той повторює передачу. Наприкінці протоколу даних перебуває завершальне поле 8. Таким чином, надається остання можливість розпізнавання помилок, наявність яких веде до повторення трансляції даних.

Розподіл інформації.

Якщо відразу кілька БУ прагнуть відправити свої протоколи да-

них, необхідно вирішити, чий протокол буде відправлений першим.

Таблиця 3.4 - Побудова інформації про положення дросельної заслінки автомобільного двигуна за допомогою 8 Біт

Послідовність бітів	Положення дросельної заслінки
0000 0000	**кут відкриття дросельної заслінки** - 000,0°
0000 0001	**кут відкриття дросельної заслінки** - 000,4°
0000 0010	**кут відкриття дросельної заслінки** - 000,8°
....	....
0101 0100	**кут відкриття дросельної заслінки** - 033,6°
....	....
1111 1111	**кут відкриття дросельної заслінки** - 102,0°

Протокол даних з максимальним пріоритетом буде відправлений у першу чергу. Так, наприклад, протокол даних від БУ гальмової системи стосовно інформації безпеки, оцінюється як більш важливий, ніж протокол від БУ АКП, що містить інформацію про комфорт руху.

Розподіл інформації відбувається в такий спосіб: кожному протоколу даних відповідно до його пріоритету в поле визначення статусу 2 (рис. 3.5) відповідає код, що складається з 11 бітів. Кожний біт має значення, якому відповідає певна «значимість». Вона може бути або підвищеною, або зниженою (табл. 3.5). У табл. 3.6 приводиться пріоритет трьох протоколів даних.

Таблиця 3.5 - Значення бітів яким відповідає певна «значимість»

Біт з напругою	Значення	Значимість
0 В	0	**Підвищена**
5 В	1	**Знижена**

Таблиця 3.6 - Пріоритет трьох протоколів даних

Пріоритет	Протокол даних	Поле визначення статусу
1	**Гальмова система**	001 1010 0000
2	**Двигун**	010 1000 0000
3	**Коробка передач**	100 0100 0000

Усі три БУ одночасно починають передавати свої протоколи даних. Одночасно починається їхнє порівняння біт за бітом у проведенні передачі даних CAN-шини. Якщо один БУ посилає біт зі зниженою значимістю «1» і розпізнає інший біт з підвищеною значимістю «0», він припиняє передачу й стає приймачем. Як видно з табл. 3.6, найбільший пріоритет має інформація, що надходить від гальмової системи (на початку поля йде сигнал «00»), потім від двигуна («01») і тільки потім від коробки передач («10»).

Боротьба з перешкодами при передачі інформації.

Джерелами перешкод в автомобілі стають деталі, при роботі яких виникає іскровий розряд, тобто відбувається розмикання або замикання електричного ланцюга. Іншими джерелами перешкод можуть ставати, наприклад, мобільні телефони й передавальні радіостанції, тобто все, що випромінює електромагнітні хвилі. Ці хвилі можуть впливати на передачу даних або спотворювати їх.

Щоб послабити дію перешкод на передачу даних, два проводи передачі даних CAN-шини скручуються між собою. Таким чином, усувається можливість випромінювання перешкод також і від самих проводів передачі даних.

На обох проводах створюється відповідна протилежна напруга: якщо на одному із проводів передачі даних напруга близько 0 В, то на іншому проводі - близько 5 В, і навпаки. Завдяки цьому сума напруг у будь-який момент залишається постійною, і ефект електромагнітного поля на обох проводах взаємно знищується (рис. 3.6). При цьому провід передачі даних захищений від зовнішніх перешкод і сам не є джерелом перешкод.

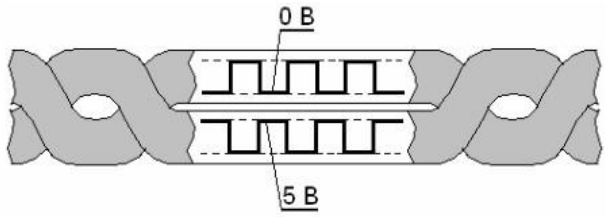


Рисунок 3.6 - Схема роботи захисту від перешкод проводів передачі даних

Мережні структури сучасних легкових автомобілів.

В 1990 році на легкових автомобілях «Мерседес-Бенц» серії 124

вперше застосовані стандартизовані шини передачі даних. Це стосувалося тільки вузлів системи привода. В 1991 році на легкових автомобілях S- класу, тип 140, за допомогою CAN-шини було з'єднано вже 5-6 різних БУ. Блок-схема такої CAN-шини представлена на рис. 3.7.

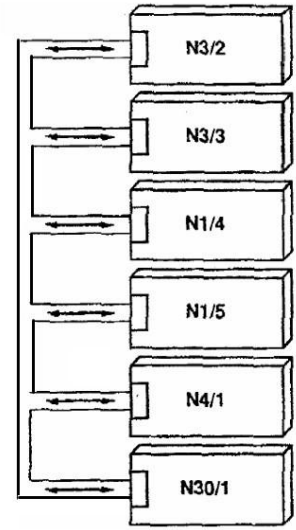


Рисунок 3.7 - Блок-схема CAN- шини автомобіля

Де (N3/2) - БУ системою впорскування бензину лівого ряду циліндрів 12- циліндрового V-образного двигуна; (N3/3)- блок керування системою впорскування бензину правого ряду циліндрів; (N1/4)- комутатор запалювання лівого ряду циліндрів; (N1/5) - комутатор запалювання правого ряду циліндрів; (N30/1)- БУ системами ходової частини (ABS/ASR). Переваги такої шини даних полягали в тому, що стало можливим відмовитися від ряду додаткових датчиків в системах керування, тому що ті самі дані використовувалися всіма БУ, підключеними до шини, різні керуючі параметри могли передаватися одночасно всім БУ, була реалізована концепція перевірки вірогідності сигналів, при виході з ладу окремих компонентів системи був можливий аварійний режим роботи автомобіля, що дозволяє своїм ходом досягти авторизованого сервісу.

З 2005 року на легкових автомобілях «Мерседес-Бенц» нового S- класу стала використовуватися мережна структура, кількість шин передачі даних у якій значно зросла.

Розгляд мережних структур сучасних легкових автомобілів показує, що без використання комбінації декількох шинних систем, що використовують різні технології, а також великого кількості електронних блоків керування, неможливо передавати всі зростаючий обсяг інформації, необхідної для забезпечення ефективної роботи систем автомобіля.

Таким чином, для забезпечення всі зростаючих вимог по безпеці, токсичності ВГ двигунів і різноманіття комфортних функцій автомобіля, необхідно постійно розбудовувати технології передачі даних, підвищувати надійність роботи шинних систем, а також підвищувати

швидкість і якість переданої інформації.

Питання для самоперевірки

1. Що таке широтно-імпульсна модуляція?
2. Чим була зумовлена розробка систем обміну даними в автомобілі?
3. Що розуміють під словом «Bus-Bar»?
4. Які є обмеження швидкості передачі даних?
5. Які є переваги та обмеження у використанні світловодів в якості передавачів сигналу?
6. Назвіть класи шинних систем передачі даних.
7. Які особливості шинних систем передачі даних класу С+?
8. Які є способи з'єднання (топології) блоків управління?
9. В чому особливість асинхронної передачі даних?
10. Що відбувається коли два пристрої одночасно починають передавати дані в мережу?
11. Чи можливе одночасне використання кількох шинних систем на транспортному засобі?
12. Який фактор найбільш важливий для систем що забезпечують безпеку?
13. Коли вперше на транспортних засобах була використана однополосна шина даних?
14. Які параметри швидкості має К-шина?
15. Що означає термін «Технологія CAN»?
16. Від чого залежить довжина CAN-шини?
17. Поясніть особливості технології LIN.
18. Поясніть особливості технології MOST.
19. В чому полягають особливості технології Bluetooth?
20. Назвіть інші, менш поширені системи передачі даних.
21. Які є варіанти з'єднання блоків керування в єдину мережу?
22. Користуючись схемою (рис. 3.4), поясніть устрій та принцип роботи CAN-шини.
23. Поясніть структуру протоколу даних CAN-шини.
24. Внаслідок чого відбувається подвоєння обсягу переданої інформації з кожним додатковим бітом?
25. Як здійснюється боротьба з перешкодами при передачі інформації на транспортному засобі?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Мигаль В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления : учеб. пособ. Харьков : Майдан, 2016. 320 с.
2. Бажинов О. В., Двадненко В. Я., Хакім М. Конверсія легкового автомобіля в гібридний. Харків : ХНАДУ, 2014. 160 с.
3. Кашканов А. А. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с.
4. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
5. Tom Denton. Electric and hybrid vehicles. New York, NY : Routledge, 2016. 207 p.
6. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics : an engineering perspective. Cambridge, MA : Butterworth-Heinemann, 2017. 712 p.
7. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.

Допоміжна

8. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Сєріков С. А. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
9. Сажко В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник. К. : Каравела, 2008. 400 с.
10. Мазепа С. С., Куцик А. С. Електрообладнання автомобіля : навч. посібник. Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. 168 с.
11. Автомобильный справочник Bosch. М. : За рулем, 2012. 1280 с.
12. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные системы управления автотракторных двигателей. Спб. : Лань, 2016. 200 с.
13. Головин С. И., Жосан А. А., Рыжов Ю. Н. Электронные системы управления работой дизельных двигателей : учебное пособие. Орел : ОрелГАУ, 2014. 189 с.
14. Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С. Электронные

системы управления бензиновых двигателей : учебное пособие. М. : КНОРУС, 2011. 96 с.
15. Кусяк В. А., Руктешель О. С. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов. Минск : БИТУ, 2015. 295 с.
16. Сергеев Н. Н., Сергеев А. Н., Хонелидзе Д. М. Электрооборудование и электронные системы автомобиля. Тула : ТулГУ, 2015. 156с.
17. Коваленко О. Л. Электронные системы автомобилей. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2013. 80 с.
18. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 1. Электронные системы зажигания. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 240 с.
19. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 2. Электронные системы зажигания. Катушки зажигания, датчики, октан-корректоры, контроллеры. М. : АНТЕЛКОМ, 2004. 224 с.
20. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 3. Системы автоматического управления экономайзером принудительного холостого хода (САУ ЭПХХ) автомобилей. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 160 с.
21. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 4. Системы световой сигнализации поворотов и аварийной сигнализации. Реле поворотов. М. : АНТЕЛКОМ, 2003. 192 с.
22. Ходасевич А. Г., Ходасевич Т. И. Справочник по устройству, применению и ремонту электронных приборов автомобилей. Часть 5. Электронные системы зажигания. Контроллеры систем управления смесеобразованием, зажиганием, двигателем. М. : ДМК Пресс, 2006. 208 с.
23. Карташевич А. Н., Белоусов В. А. Тракторы и автомобили. Тормозные системы автомобилей. Пневматические тормозные приводы. Горки : БГСХА, 2014. 52 с.
24. Котельников А. П. Мехатронные системы тормозного управления автомобилей. Екатеринбург : УрГУПС, 2011. 80 с.
25. Черепанов Л. А. Автоматические системы автомобиля. Тольятти : ТГУ, 2006. 132 с.
26. Кашкаров А. П. Автомобильные кондиционеры. М. : ДМК-Пресс,

2012. 112 с.
27. Демидов Н. Н., Красильников А. А., Элизов А. Д. Конструирование и расчет автомобилей и тракторов. Электромобили : учеб. пособие. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 96 с.
28. Jürgen Garche, Eckhard Karden, Patrick T. Moseley. Lead-acid batteries for future automobiles. Amsterdam : Elsevier, 2017. 669 p.
29. Andreas Luescher. Urban shrinkage, industrial renewal and automotive plants. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 129 p.
30. Ashish Bharadwaj. Environmental regulations and innovation in advanced automobile technologies. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 119 p.
31. Chandan Deep Singh, Jaimal Singh Khamba. Manufacturing competency and strategic success in the automobile industry. New York, NY : CRC Press, 2019. 239 p.
32. Junxiu Wang. Development of a society on wheels. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 316 p.
33. Markus Mueck. Networking vehicles to everything evolving automotive solutions. Berlin : CPI books GmbH, 2018. 234 p.
34. Uwe Winkelhake. The digital transformation of the automotive industry catalysts, roadmap, practice. Wiesbaden : Springer, 2018. 317 p.
35. Vivek D. Bhise. Automotive product development. A systems engineering implementation. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 571 p.
36. Yi Wu. Achieving supply chain agility : information system integration. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 242 p.
37. Norton Robert. Automotive Milestones. The technological development of the automobile : who, what, when, where, and how it all works. South Norwalk, Connecticut : Industrial Press, Inc., 2016. 322 p.
38. Martin Thaddeus. Classic car electrics: tips, techniques & step-by-step repair, restoration & maintenance procedures. London : Veloce publishing, 2015. 299 p.
39. Konrad Reif. Brakes, brake control and driver assistance systems. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 284 p.
40. Daniele Fabrizio Bignami, Alberto Colorni Vitale, Alessandro Lué Roberto Nocerino. Electric vehicle sharing services for smarter cities. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 280 p.
41. Emanuele Crisostomi, Robert Shorten, Sonja Stüdli. Electric and plug-in hybrid vehicle networks : optimization and control. Boca Raton, FL : CRC Press, 2018. 261 p.

42. Gianfranco Pistoia, Boryann Liaw. Behaviour of lithium-ion batteries in electric vehicles : battery health, performance, safety, and cost. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 343 p.
43. John G. Hayes, Abas Goodarzi. Electric powertrain : energy systems, power electronics and drives for hybrid, electric and fuel cell vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2018. 557 p.
44. Harrop Peter, Das Raghu. Car traction batteries - the new gold rush 2010-2020. Cambridge, UK : IDTechEx, 2020. 271 p.
45. Lance Noel, Gerardo Zarazua de Rubens, Johannes Kester. Vehicle-to-Grid : a sociotechnical transition beyond electric mobility. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 271 p.
46. Larry E. Erickson, Jessica Robinson, Gary Brase. Solar powered charging infrastructure for electric vehicles. Boca Raton, FL : CRC Press, 2017. 183 p.
47. Mehdi Rahmani-Andebili. Planning and operation of plug-in electric vehicles : technical, geographical, and social aspects. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2019. 251 p.
48. Nam Kwang Hee. AC motor control and electrical vehicle applications. Boca Raton, FL : CRC Press, 2019. 575 p.
49. Ottorino Veneri. Technologies and applications for smart charging of electric and plug-in hybrid vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 323 p.
50. Patricia Egede. Environmental assessment of lightweight electric vehicles. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2017. 141 p.
51. Philipp Bergmeir. Enhanced machine learning and data mining methods for analyzing large hybrid electric vehicle fleets based on load spectrum data. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2018. 192 p.
52. Xiong Rui, Welxiang Shen. Advanced battery management technologies for electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2019. 390 p.
53. Teresa Donateo. Hybrid electric vehicles. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 154 p.
54. Wei Liu. Hybrid electric vehicle system modeling and control. West Sussex, UK : John Wiley & Sons Ltd., 2017. 582 p.
55. Zhongjing Ma. Decentralized charging coordination of large-scale plug-in electric vehicles in power systems. Cham, Switzerland : Springer Nature, 2020. 252 p.

Інформаційні ресурси

56. Автоэлектрика. URL: https://www.12v-club.ru/articles/6/index.html (дата звернення: 26.01.2020).
57. Зажигание. URL: http://dimasen.narod.ru/zazhig/index.html (дата звернення: 26.01.2020).
58. Системы зажигания автомобилей — общее устройство и типы. URL: http://www.ardio.ru/ignsys.php (дата звернення: 26.01.2020).
59. Плазменное зажигание. URL: http://icarbio.ru/articles/plazmennoe-zazhiganie.html (дата звернення: 26.01.2020).
60. Автомобильный ЧИП. Что это такое? URL: https://smartkey.com.ua/ blog/avtomobilnyij-chip (дата звернення: 26.01.2020).
61. Эффективные средства защиты автомобиля от угона - иммобилайзер и сигнализация. URL: https://labavto.com/elektronika/ safe/ immobilajzer-i-signalizatsiya/ (дата звернення: 26.01.2020).
62. Иммобилайзеры: штатный и дополнительный. Сравнение современных моделей. URL: https://www.ugona.net/article/ immobilaizery-shtatnyi-i-dopolnitelnyi-sravnenie-sovremennykh-modelei-33.html (дата звернення: 26.01.2020).
63. Для чего тормозам система ABS. URL: https://www.drive.ru/technic/ 4efb331400f11713001e38cb.html (дата звернення: 26.01.2020).
64. Глобальные технические правила ООН № 8 - Электронные системы контроля устойчивости. URL: http://www.unece.org/trans/ main/ wp29/ wp29wgs/wp29gen/wp29registry/ECE-TRANS-180a8r.pdf (дата звернення: 26.01.2020).
65. Круиз-контроль. URL: http://www.zr.ru/archive/zr/1990/01/ sovriemiennaia-avtomobil-naia-tiekhnika (дата звернення: 26.01.2020).
66. Спутниковая навигация в автомобиле. URL: http://www.nkj.ru/ archive/articles/7341/ (дата звернення: 26.01.2020).
67. История развития электромобиля. URL: https://efut.ru/a/65-istorija-razvitija-jelektromobilja.html (дата звернення: 26.01.2020).
68. How car electrical systems work. URL: https://www.howacarworks. com/ basics/how-car-electrical-systems-work (дата звернення: 26.01.2020).
69. How Brake Assist Works. URL: http://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/brake-assist.htm (дата звернення: 26.01.2020).