

ЛЕКЦІЯ № 11. СИСТЕМИ ЗАПАЛЮВАННЯ

План лекції. 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.

Функціональні вимоги до систем запалювання.

Основне призначення системи запалювання полягає в тому, щоб забезпечити іскроутворення в циліндрі в кінці фази стиску й запалювати стислий обсяг паливної повітряної суміші.

Щоб іскра пробилла повітряний проміжок 0,6 мм при нормальних атмосферних умовах (1 бар) потрібна напруга 2-3 кВ. Щоб іскра пробилла подібний проміжок у циліндрі двигуна, що має ступінь стиску 8:1, буде потрібно вже приблизно 8 кВ. Для більш високих ступенів стиску й більш слабких сумішей, може знадобитися напруга до 20 кВ. Система запалювання повинна перетворювати нормальну напругу ба- тарей 12 В до рівня порядку 8-20 кВ і крім того, повинна підвести цю високу напругу до потрібного циліндра в потрібний час. Деякі системи запалювання можуть створювати напругу порядку 40 кВ.

Звичайне (класичне) запалювання є попередником сучасної системи, якою управляє електроніка. Слід відмітити, що принципи функціонування більшості систем запалювання дуже схожі. Одна обмотка котушки підключається до джерела живлення, потім струм у ній переривається, створюючи високу напругу в другій обмотці. Система запалювання з котушкою складається з різних компонентів і вузлів, параметри й конструкція яких залежать в основному від двигуна, у якому система повинна використовуватися.

При розгляді конструкції системи запалювання необхідно взяти до уваги безліч факторів, і найважливішими з них будуть:

- конструкція камери згоряння;
- якість повітряно-паливної суміші;
- діапазон швидкостей двигуна;

- навантаження двигуна;
- температура згоряння палива;
- призначення двигуна;
- регулювання состава продуктів згоряння.

Залежно від способу керування процесом запалювання розрізняють наступні **типи систем запалювання**: контактна, безконтактна (транзисторна) і електронна (мікропроцесорна).

Серцем системи запалювання є **котушка запалювання**, тому що вона забезпечує створення високої напруги в системі. Котушка запалювання застосовується в усіх системах запалювання: контактній, безконтактній, електронній. За своєю суттю котушка запалювання це трансформатор з двома обмотками.

Розрізняють такі типи котушок запалювання: загальна, індивідуальна і здвоєна.

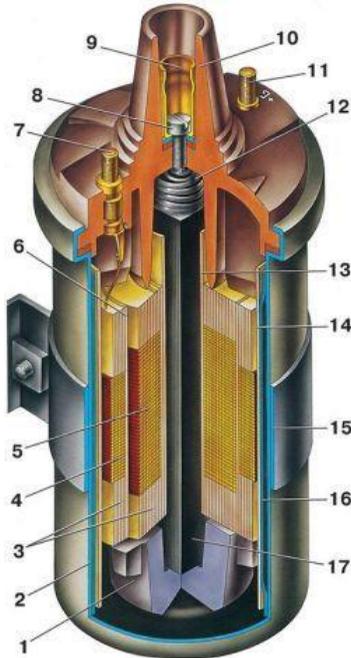
Загальна котушка запалювання застосовується в контактній, безконтактній системах запалювання і електронній системі запалювання з розподільником.

Котушка запалювання має наступний устрій. Котушка об'єднує дві обмотки - первинну і вторинну. Первинна обмотка містить від 100 до 150 витків товстого мідного дроту. Для попередження стрибків напруги і короткого замикання дріт ізольований. Первинна обмотка має два низьковольтних виводу на кришці котушки запалювання.

Вторинна обмотка має від 15 000 до 30 000 витків тонкого мідного дроту. Вторинна обмотка знаходиться всередині первинної обмотки. Один кінець вторинної обмотки з'єднаний з негативною клемою первинної обмотки, інший - з центральною клемою на кришці, що забезпечує вивід високої напруги.

Для підвищення сили магнітного поля обмотки розташовуються навколо залізного сердечника. Обмотки разом з сердечником поміщені в корпус з ізолюючої кришкою. Для запобігання токового нагріву котушка заповнена трансформаторним маслом. Основними характеристиками котушки запалювання є опір обмоток, який для кожної моделі індивідуальний. Для прикладу, опір первинної обмотки становить близько 3-3,5 Ом, вторинної обмотки - 5 000-9 000 Ом.

Відхилення величини опору обмотки від нормативного значення свідчить про несправність котушки. Робота котушки запалювання заснована на виникненні у вторинній обмотці високої напруги при проходженні по первинній обмотці імпульсу струму низької напруги.



- 1 - ізолятор; 2 - корпус;
- 3 - ізоляційний папір;
- 4 - первинна обмотка;
- 5 - вторинна обмотка;
- 6 - ізоляція між обмотками;
- 7 - клемма виведення первинної обмотки; 8 - контактний гвинт;
- 9 - центральна клемма; 10 - кришка;
- 11 - клемма виводів первинної і вторинної обмотки;
- 12 - пружина центральної клемми;
- 13 - каркас вторинної обмотки;
- 14 - зовнішня ізоляція первинної обмотки;
- 15 - скоба кріплення котушки;
- 16 - зовнішній магнітопровід;
- 17 -сердечник

Рисунок 6.1 - Загальна котушка запалювання

При проходженні через первинну обмотку струму створюється магнітне поле. При відсіченні струму магнітне поле наводить у вторинній обмотці струм високої напруги, який виводиться через центральну клему котушки і за допомогою розподільника подається до свічок запалювання.

Індивідуальна котушка запалювання застосовується в електронній системі прямого запалювання. Як і загальна котушка запалювання, вона включає первинну і вторинну обмотки. Тут, навпаки, первинна обмотка знаходиться всередині вторинної. У первинній обмотці встановлений внутрішній сердечник, а навколо вторинної - зовнішній сердечник.

В індивідуальній котушці запалювання можуть розташовуватися електронні компоненти запалювача. Висока напруга, що виробляється у вторинній обмотці, подається безпосередньо на свічку запалювання за допомогою наконечника, що включає стрижень високої напруги, пружину та ізолюючу оболонку. Для швидкого відсікання струму ви-

сокої напруги у вторинній обмотці встановлюється діод високої напруги.



Рисунок 6.2 - Індивідуальні котушки запалювання

Здвоєна котушка запалювання (інше найменування - двохвивідна котушка запалювання) застосовується в багатьох конструкціях електронної системи прямого запалювання. Здвоєна котушка має два високовольних виводи, які забезпечують синхронне отримання іскри двома циліндрами одночасно. При цьому тільки один циліндр знаходиться в кінці такту стиснення. В іншому циліндрі іскра виникає вхолосту на такті випуску відпрацьованих газів.

Двохвивідна котушка запалювання може мати різне з'єднання зі свічками запалювання:

- за допомогою проводу високої напруги;
- одна свіча - безпосередньо через наконечник, інша - за допомогою дроту високої напруги.

Конструктивно дві двохвивідні котушки можуть об'єднуватися в єдиний блок, який носить власну назву - чотирьохвивідна котушка

запалювання.

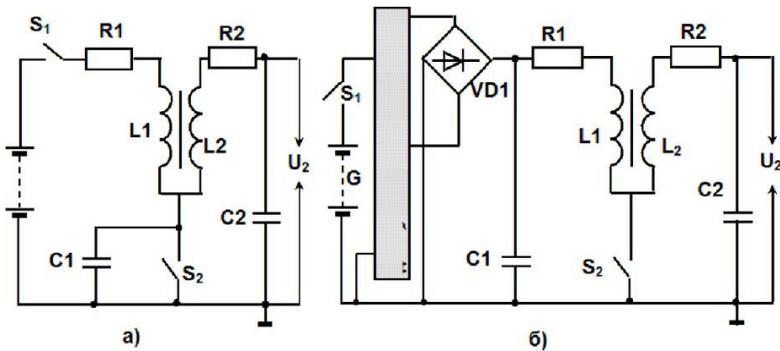
Генерація високої напруги для свічок запалювання.

У перші 20 років минулого століття двигуни автомобілів для запалювання паливної суміші зазвичай оснащувалися магнето, тобто генератором високої напруги, який приводився від двигуна й не вимагав наявності акумулятора.

Проте для роботи світлових приладів автомобіля все одно був потрібен акумулятор, тому стара система запалювання була поступово витиснута більш прогресивною – катушковою, яка була вперше запатентована у 1908 р. К.Ф. Кеттерінгом з «Dayton Engineering Laboratories Company» (DELCO) і не перетерпіла істотних змін за майже 100 років. Проте розвиток електроніки поклав кінець монополії Кеттерінга, і за останні 20 років у конструкцію систем запалювання було внесено змін більше, чим за всі попередні роки.

Отже, батарейно-катушкова система запалювання все ще застосовується на багатьох автомобілях, і розуміння принципів її роботи має велике значення, хоча тепер вона є лише частиною великої групи різноманітних систем.

По способу накопичення енергії розрізняють системи з накопиченням енергії в індуктивності і в ємності (рис. 6.3).



а - з накопиченням енергії в індуктивності;

б - з накопиченням енергії в ємності

Рисунок 6.3 - схеми запалювання

В обох випадках для одержання імпульсу високої напруги використовується катушка запалювання, яка представляє собою високово-

льтний трансформатор, що містить дві обмотки: первинну з малим числом витків і омичним опором у долі й одиниці Ом, і вторинну з більшим числом витків і омичним опором в одиниці й десятки кОм.

Коефіцієнт трансформації котушки лежить у межах 50÷150. Значна кількість енергії, яка потрібно для запалення робочої суміші, накопичити в конденсаторі (ємності) прийнятних розмірів при досить низькій напрузі бортової мережі неможливо, і тому система, представлена на рис. 6.3, б, обладнана високовольтним перетворювачем напруги. Таке ускладнення не дає істотних переваг, тому системи з накопиченням енергії в ємності на автомобілях практично не застосовуються.

Принцип роботи схеми, зображеної на рис. 6.3, а, характерний для всіх систем запалювання, встановлюваних на автомобілях. Вимикач запалювання S_1 включає систему в мережу живлення. При обертанні вала двигуна відбувається замикання контактів механізму переривника S_2 , і струм I_1 починає наростати в первинному ланцюзі котушки запалювання по експоненті (рис. 6.4, а).

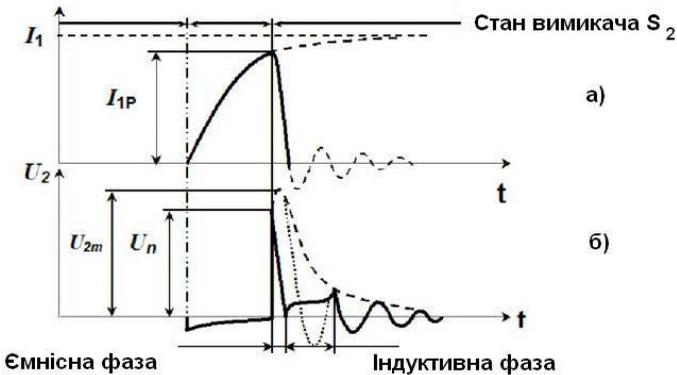


Рисунок 6.4 - Епюри струму в первинному ланцюзі (а) і напруга у вторинному ланцюзі (б) системи запалювання

У момент, необхідний для подачі іскрового імпульсу на запалювання (напруга U_2), переривник S_2 розриває свої контакти, після чого виникає коливальний процес, пов'язаний з обміном енергією між магнітним полем котушки й електричним полем у ємностях C_1 і C_2 . Амплітуда коливань напруги, прикладеної до електродів свічі U_2 , убуває по експоненті (штрихова лінія на рис. 6.4, б).

Однак має інтерес лише перша півхвиля напруги, тому що, якщо її максимальне значення U_{2m} перевищує напруга пробою іскрового проміжку U_n , то виникає необхідна для запалювання іскра.

Величина U_{2m} залежить від коефіцієнта трансформації котушки запалювання $K_T = W_2/W_1$ (W_1 і W_2 відповідно число витків первинної й вторинної обмоток котушки), струму первинної обмотки в момент розриву I_p , а також індуктивності L_1 і ємності C_1 первинної й C_2 вторинного ланцюгів:

$$U_{2m} \approx I_{1P} \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C_1 \cdot \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^2 + C_2}} \cdot K_T \quad (6.1)$$

Коефіцієнт K_{Π} враховує втрату енергії в активних опорах первинної R_1 і вторинного R_2 ланцюгів, в опорі нагару $R_{ш}$, шунтуючого іскровий проміжок, а також у сердечнику котушки при його перемагнічуванні. Звичайно K_{Π} лежить у межах $0,7 \div 0,8$. Вплив нагару на свічах, на іскроутворення, значно знижується зі збільшенням швидкості наростання вторинної напруги. У сучасних системах ця швидкість лежить у межах $(200 \div 700)$ В/мкс.

Після пробою іскрового проміжку вторинна напруга різко зменшується (рис. 6.4, б). При цьому в іскровому проміжку спочатку іскра має ємнісну фазу, пов'язану з розрядом ємностей на проміжок, а потім індуктивну, під час якої в іскрі виділяється енергія, накопичена в магнітному полі котушки.

Ємнісна складова іскри звичайно короткочасна, дуже ярка, має блакитнувате світіння. Сила струму в іскрі велика навіть при малій кількості електрики, що протікає в ній.

Індуктивна складова відрізняється значною тривалістю, невеликою силою струму, великою кількістю електрики й неясним червонуватим світінням. Осциллограма вторинної напруги, що відповідає рис. 6.4, б, є ознакою нормальної роботи системи запалювання. Про нормальну роботу свідчить і вид іскри між електродами свічі. У справній системі вона має яскраве ядро, оточене полум'ям червонуватого кольору. Розподіл запалювання по циліндрах може проводитися як на високовольтній, так і на низьковольтній стороні.

При низьковольтному розподілі кожна котушка запалювання

обслуговує два або чотири циліндри. У першому випадку котушка має два високовольтні виводи (двохвивідна котушка), у другому чотири (чотирьохвивідна). Імпульси напруги на обох виводах двохвивідної котушки з'являються одночасно, але один з них подається в циліндр у такті стиску й робить запалення робочої суміші, а в іншому циліндрі в цей час надлишковий тиск відсутній, і виділена в іскрі енергія витрачається вхолосту. Чотирьохвивідна котушка постачена первинною обмоткою, що полягає із двох секцій, що працюють поперемінно.

Високовольтні діоди забезпечують поділ ланцюгів, тому що високовольтні імпульси такої системи різнополярні. Це є недоліком системи із чотирьохвивідною котушкою, оскільки залежно від полярності імпульсу, напруга пробій на свічі може відрізнятись на $1,5 \div 2$ кВ. Котушка може обслуговувати й один циліндр, у цьому випадку вона звичайно розташовується безпосередньо на свічі.

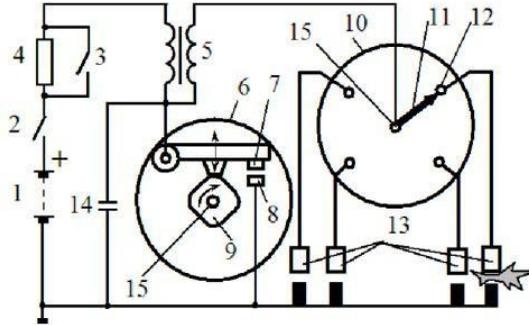
У даний час досить поширений високовольтний розподіл запалювання, однак, розвиток електроніки дозволяє перейти, вірніше, повернутися до низьковольтного розподілу, який був, наприклад, на перших автомобілях фірми «Форд», де були 4 переривника й 4 котушки запалювання.

Схеми систем запалювання.

Як вже було сказано раніше, при однаковому принципі роботи, системи запалювання по своїх конструктивних і схемних рішеннях діляться на контактну систему (інакше її називають класичною), контактнo-транзисторну й безконтактну електронні системи запалювання.

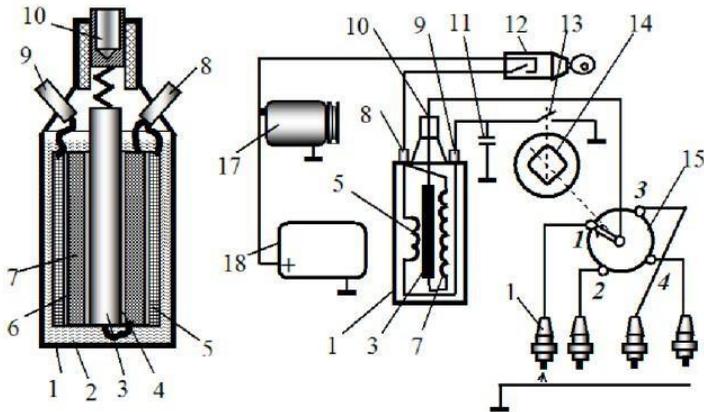
У **контактній системі запалювання** (рис. 6.5) комутація в первинному ланцюзі запалювання здійснюється механічним кулачковим перевним механізмом (переривник-розподільник запалювання). Кулачок 14 переривника (рис. 6.6) пов'язаний з колінчатим валом двигуна через зубчасту, ланцюгову або зубчасто-ремінну передачу, причому частота обертання вала кулачка вдвічі менша частоти обертання вала двигуна, тобто кулачок обертається із частотою розподільного валу.

Кут випередження запалювання встановлюється зміною положення кулачка щодо приводного вала або кутового положення пластини переривника, на якій закріплена вісь його рухливого важільця. Час замкненого й розімкнутого стану контактів визначається конфігурацією кулачка, частотою обертання n і зазором між контактами. Додатковий резистор 4 (рис. 6.5) усуває вплив зниження напруги в бортовій мережі при включенні системи запалювання.



- 1 - акумуляторна батарея; 2,3 - контакти вимикача запалювання;
 4 - додатковий резистор; 5 - котушка запалювання; 6 - переривник;
 7, 8 - рухомий і нерухомий контакти переривника; 9 - кулачок;
 10 - розподільник; 11 - ротор; 12 - нерухомий електрод;
 13 - свічки запалювання; 14 - конденсатор; 15 - ось ротора

Рисунок 6.5 - Принципова схема класичної контактної системи запалювання



- 1 - кожух; 2 - трансформаторне масло; 3 - сердечник; 4 - ізолятор;
 5 - первинна обмотка; 6 - ізолятор; 7 - вторинна обмотка; 8 - клемма;
 9 - клемма; 10 - центральна клемма; 11 - конденсатор; 12 - замок запалювання;
 13 - контакт переривника; 14 - кулачок переривника;
 15 - розподільник переривника; 16 - свічки запалювання;
 17 - генератор; 18 - акумуляторна батарея

Рисунок 6.6 - Схема котушки і системи запалювання без додаткового резистора

Для цього він при пуску закорочується, при нормальній роботі на нього падає частина напруги так, що до котушки запалювання підходить напруга $7 \div 8$ В, на яку вона й розрахована. Додатковий резистор виконується з нікелевого або константанового дроту, має опір $1 \div 1,9$ Ом і розташовується або на котушці запалювання, або поза нею.

Виготовлення додаткового резистора з нікелевого дроту дозволяє йому виконувати додаткову функцію - захист первинного ланцюга від перевантаження, можливого на малій частоті обертання колінчатого вала. Опір нікелевого резистора з ростом сили струму зростає. У конструкціях, де напруга при пуску знижується мало, додатковий резистор не застосовується.

Розподільний механізм із переривником, об'єднані в один вузол «переривник-розподільник», підводить вивід вторинної обмотки котушки запалювання через контактний вуглик до обертового електрода (ротору), встановленому на одному валу з кулачком переривника.

При обертанні ротора, висока напруга послідовно, через повітряний проміжок приблизно в 0,5 мм, електроди розподільника й високівольтні проводи, подається на свічі.

Момент проходження ротора повз кожний електрод розподільника синхронізований з розмиканням контактів переривника.

Котушка запалювання являє собою автотрансформатор із двома обмотками. Призначена для одержання високої напруги до 24 кВ і більше із низької напруги бортової мережі 12 В. Первинна обмотка містить $180 \div 330$ витків проводу діаметром $0,57 \div 1,25$ мм, вторинна – $18\ 000 \div 41\ 000$ витків проводу діаметром $0,06 \div 0,09$ мм.

При низькому опорі первинної обмотки (менше 3 Ом) послідовно до неї включається додатковий резистор, що підвищує активний опір первинного ланцюга автотрансформатору. Загальний опір котушки складається з активного (визначається характеристикою матеріалу, довжиною й перетином проводу, а також температурою провідника) і реактивного опорів (залежить від кількості витків, характеристики магнітопроводу й частоти змінного струму).

При збільшенні частоти обертання двигуна росте частота розмикання в первинному ланцюзі автотрансформатора. При цьому час протікання струму по первинній обмотці зменшується, її провід нагрівається менше, і опір його падає, у зв'язку із чим сила струму, що протікає по котушці, зменшується незначно, і індукована сила струму у вторинній обмотці залишається досить високою.

При зниженні обертів двигуна, час, протягом якого первинна обмотка підключена до системи живлення, зростає, провід первинної обмотки разом з додатковим резистором нагріваються ще сильніше, його опір зростає й обмежує силу струму.

Сердечник 3 котушки (рис. 6.6) виготовляється з набору тонколистових пластин, ізольованих друг від друга окалиною. Це дозволяє зменшити шкідливий вплив струмів Фуко (вихрових індукційних струмів), що розігрівають сердечник. Кулачок 14 переривника одержує обертання від вала двигуна й служить для розмикання контакту 13, установленого нерухомо на переривнику-розподільнику.

Разом з кулачком на одній осі обертається розподільник 15, при проходженні якого повз контакти 1-2-3-4 він передає високу напругу свічам запалювання 16.

На рис. 6.7, а представлений приклад залежності вторинної напруги U_{2m} від частоти обертання n колінчатого вала двигуна.

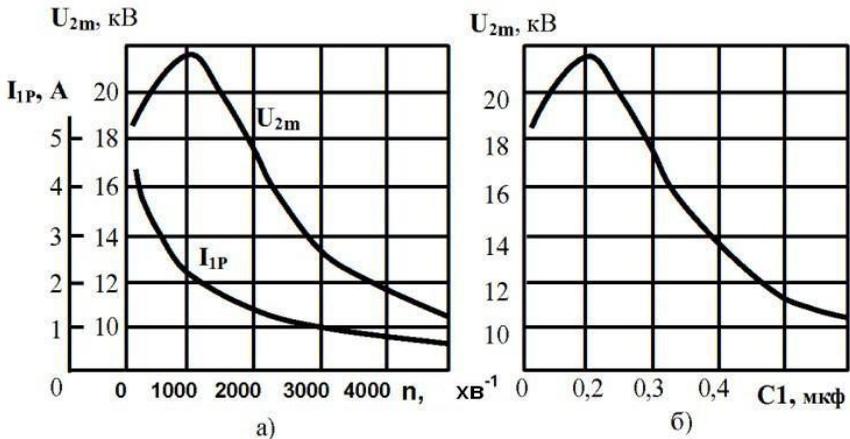


Рисунок 6.7 - Залежність сили струму в момент розриву первинного ланцюга I_{1p} і вторинної напруги U_{2m} контактної системи запалювання від частоти обертання колінчастого вала n (а) і вторинної напруги U_{2m} від ємності первинного ланцюга $C1$ (б)

Час t замкненого стану контактів переривника визначається вираженням:

$$t = \frac{120 \cdot k}{n \cdot z}, \quad (6.2)$$

де z - число циліндрів двигуна;
 k - коефіцієнт, що залежить від профілю кулачка.

При росту частоти обертання час замкненого стану контактів зменшується, а, виходить, зменшується сила струму в момент розриву контактів I_{1p} і, як наслідок, знижується вторинна напруга. Зниження U_{2m} при малій частоті обертання пояснюється іскрінням контактів при повільному їхньому розходженні.

На рис. 6.7, б наведена залежність вторинної напруги від ємності C_1 , що включається паралельно контактам переривника для зниження їхнього іскріння. При малій ємності C_1 іскріння все-таки виникає, і напруга знижується. Однак і збільшення ємності C_1 також знижує вторинна напруга, тому конденсатор підбирається до кожної системи індивідуально. Зазвичай ємність конденсатора C_1 лежить у межах $0,17 \div 0,35$ мкФ.

Амплітуда вторинної напруги знижується і з ростом ємності вторинного ланцюга C_2 . Це створює проблему у випадку застосування екранованої системи запалювання, тому що екранування викликає підвищення вторинної ємності. Екранування системи застосовується для зниження рівня радіоперешкод, створюваних системою запалювання.

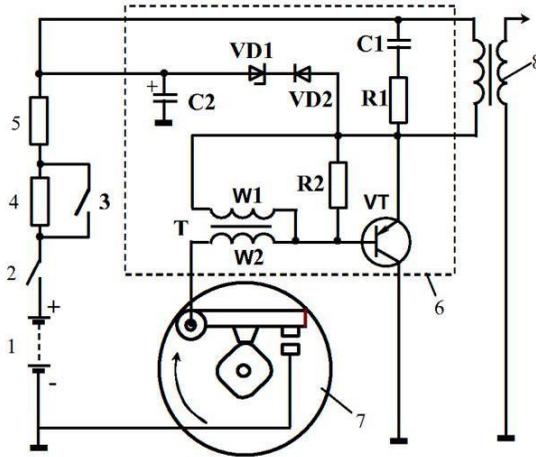
Контактно-транзисторна система запалювання.

Стала перехідним етапом від контактної до безконтактної електронної системи. У ній усувається недолік контактної системи - підгорання й зношування контактів переривника, комутуючих ланцюг з індуктивністю й значною силою струму. У контактно-транзисторній системі первинний ланцюг обмотки збудження комутує транзистор, керований контактами переривника.

Із застосуванням контактно-транзисторної системи на автомобілі з'явився новий блок - електронний комутатор, що поєднує в собі силовий комутуючий транзистор і елементи схеми його керування й захисту. На рис. 6.8 представлена схема контактно-транзисторного запалювання з комутатором ТК102, яка забезпечує запалювання восьмициліндрових двигунів автомобілів ЗІЛ та ГАЗ.

При замиканні контактів переривника через них починає протікати базовий струм транзистора VT, який відкривається й включає первинний ланцюг обмотки збудження в живильну мережу. При розмиканні контактів переривника транзистор VT закривається, струм у первинному ланцюзі різко переривається й на свічах з'являється

сплеск високої напруги, як це й було в контактній системі. Характеристики контактно-транзисторної системи аналогічні контактній, за винятком того, що зниження вторинної напруги на низьких частотах обертання кулачка не відбувається. Імпульсний трансформатор Т у схемі прискорює запирання транзистора, ланцюг VD1, VD2 захищає транзистор від перенапруг, а конденсатор C2 - від випадкових імпульсів напруги по ланцюгу живлення.



- 1 - акумуляторна батарея; 2, 3 - контакти вимикача запалювання;
 4, 5 - додаткові резистори; 6 - комутатор; 7 - переривник;
 8 - котушка запалювання

Рисунок 6.8 - Схема контактно-транзисторної системи запалювання з комутатором

Конденсатор C1 сприяє зменшенню комутаційних втрат у транзисторі. Додатковий резистор 4 закорочується при пуску. Термін служби контактів переривника в контактно-транзисторній системі більше, чим у контактній, тому що базовий струм, що комутується ними, невеликий. Однак механічне зношування механізму переривника й вплив вібрацій на роботу контактів у цій системі не усунуті.

Електронні системи запалювання.

В електронних системах запалювання контактні переривники замінені безконтактними датчиками. В якості датчиків використовуються оптоелектронні датчики, датчики Віганда, але найбільш часто -

магнітоелектричні датчики (МЕД) і датчики Хола (ДХ).

МЕД бувають генераторного й комутаторного типів. У генераторному датчику обертається постійний магніт, поміщений усередину дзобоподібного магнітопроводу. При цьому в котушці, надягнутої на свій дзобоподібний магнітопровід, наводиться ЕРС. У МЕД комутаторного типу обертається зубчастий ротор з магнітом'якого матеріалу, а магніт нерухливий. ЕРС у котушці наводиться за рахунок зміни величини її магнітного потоку при збігу й розбіжності виступів статора й ротора. Недоліком МЕД є залежність вихідного сигналу від частоти обертання, а також значна індуктивність котушки, що викликає запізнювання в проходженні сигналу.

Від цих недоліків позбавлений датчик Холу. Особливість його полягає в тому, що ЕРС, що знімається із двох граней його чутливого елемента, пропорційна добутку сили струму, що підводиться до двох інших граней, на індукцію магнітного поля, що пронизує датчик. У реальних системах магнітне поле створюється нерухливим магнітом, який відділений від датчика магнітом'яким екраном із прорізами.

Якщо між магнітом і чутливим елементом попадає сталевий виступ, магнітний потік ним шунтується й на датчик не попадає, ЕРС на виході чутливого елемента відсутня. Проріз безперешкодно пропускає магнітний потік, і на виході елемента з'являється ЕРС.

Найбільш простою у схемному й функціональному виконанні є безконтактна система запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії. Безконтактні системи запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії.

Така система запалювання принципово відрізняється від контактно-транзисторної тільки тим, що в ній контактний переривник замінений безконтактним датчиком. На рис. 6.9 наведена схема системи з комутатором 13.3734-01 автомобілів ГАЗ.

Сигнал з обмотки L магнітоелектричного датчика через діод VD2, що пропускає тільки позитивну півхвилю напруги, і резистори R₂, R₃ надходить на базу транзистора VT1. Транзистор відкривається, шунтує перехід база-емітер транзистора VT2, який закривається. Закривається й транзистор VT3, струм у первинній обмотці котушки запалювання переривається й на виході вторинної обмотки виникає висока напруга. У негативну півхвилю напруги транзистор VT1 закривається, відкриті VT2 і VT3, і струм починає протікати через первинну обмотку котушки запалювання. Очевидно, що число пар полюсів дат-

чика повинне відповідати числу циліндрів двигуна.

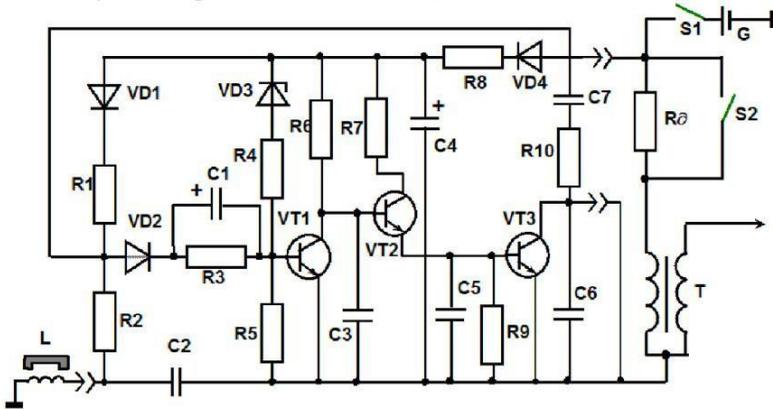


Рисунок 6.9 - Принципова електрична схема безконтактної системи запалювання з комутатором

Ланцюг R3-C1 здійснює фазозсувні функції, що компенсують фазове запізнювання протікання струму в базі транзистора VT1 через значну індуктивність обмотки датчика L, що знижує погрішність моменту іскроутворення.

Стабілітрон VD3 і резистор R4 захищають схему комутатора від підвищеної напруги в аварійних режимах, тому що, якщо напруга в бортовому ланцюзі перевищує 18 В, ланцюг починає пропускати струм, транзистор VT1 відкривається й закривається вихідний транзистор VT3. У ланцюгах захисту від небезпечних імпульсів напруги служать конденсатори C3, C4, C5, C6; діод VD4 захищає схему від змін полярності бортової мережі.

Форма й величина вхідної напруги магнітоелектричного датчика змінюються із частотою обертання, що впливає на момент іскроутворення. Крім того, у системі, не усунутий істотний недолік контактної запалювання - зменшення вторинної напруги при зростанні частоти обертання колінчатого вала. Тому більш перспективна система з регулюванням часу накопичення енергії.

Безконтактна система запалювання з регулюванням часу накопичення енергії.

Регулюючи час накопичення енергії, тобто час, коли первинний ланцюг котушки запалювання підключений до мережі живлення, мо-

жна зробити струм розриву цього ланцюга незалежним або мало залежним від частоти обертання колінчатого вала двигуна, а виходить, і позбутися недоліку контактної системи запалювання - зниження вторинної напруги з ростом частоти обертання.

Принцип такого регулювання полягає в тому, щоб з ростом частоти обертання збільшити відносний час включення котушки запалювання в мережу так, щоб абсолютний час включення залишився незмінним. На рис. 6.10 представлена система запалювання автомобілів ВАЗ з електронним комутатором 36.3734-20 і датчиком Хола.

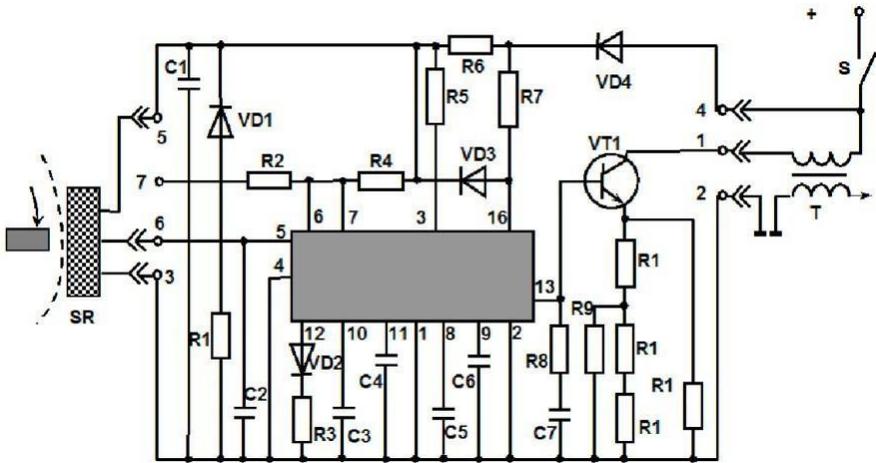


Рисунок 6.10 - Принципова електрична схема безконтактної системи запалювання з регулюванням часу накопичення енергії

У комутаторі застосована мікросхема L497B. Стабілізація вторинної напруги досягається в схемі двома шляхами: регулюванням часу знаходження транзистора VT1 у відкритому стані (тобто часу включення первинного ланцюга котушки запалювання в мережу) або обмеженням сили струму в первинному ланцюзі значенням близько 8 А. Останнє, крім того, запобігає перегріву котушки.

Схема працює в такий спосіб. З датчика Хола на вхід комутатора приходить сигнал прямокутної форми, який приблизно на 3В менше напруги живлення, із тривалістю, відповідною до проходження виступів екрана повз чутливий елемент датчика. Нижній рівень сигнала

лу 0,4 В відповідає проходженню прорізу. У момент переходу від високого рівня до низького, відбувається іскроутворення. У мікросхемі комутатора сигнал у блоці формування періоду накопичення енергії спочатку інвертується, потім інтегрується.

На виході інтегратора утворюється шпильста напруга, яка тим більше, чим менше частота обертання двигуна. Ця напруга надходить на вхід комутатора, на інший вхід якого подана опорна напруга.

Компаратор вчасно перетворює напругу. Сигнал на вході компаратора має місце тоді, коли значення пилкоподібної напруги досягає опорного й перевищує його.

При великій частоті обертання пилкоподібна напруга мала, відповідно й мала тривалість сигналу на виході компаратора. Зі зникненням вихідного сигналу компаратора через схему керування відкривається транзистор VT1 і первинний ланцюг запалювання включається в мережу. Отже, час накопичення енергії в котушці відповідає часу відсутності сигналу на виході компаратора. Зменшення тривалості сигналу компаратора дозволяє збільшити відносну величину часу накопичення енергії й тим самим стабілізувати її абсолютне значення.

Блок обмеження сили вихідного струму спрацьовує по сигналу, що знімається з резисторів, включених послідовно в первинний ланцюг запалювання. Якщо цей сигнал досягає рівня, відповідного до сили струму 8 А, блок переводить вихідний транзистор в активний стан з фіксуванням цього значення струму.

Блок безіскрового відсічення відключає котушку запалювання у випадку, якщо включене електроживлення, але вал двигуна нерухливий. При зупиненому після обертання двигуні відключення відбувається відразу, а якщо ні, то - через 2-5 с.

Схема насичена елементами захисту від сплесків напруги й включення зворотної полярності живлення. Регулювання кута випередження запалювання здійснюється традиційними способами, тобто відцентровим і вакуумним регуляторами.

Мікросхема L497В застосовується у двоканальному комутаторі 64.3734-20 для систем з низьковольтним розподільником енергії. У комутаторі 6420.3734 застосований вихідний транзистор ВУ 931 ZPF1 із внутрішнім захистом від перенапруги, що значною мірою підвищує надійність роботи комутатора.

Електронні пристрої керування моментом запалювання.

За принципом дії електронні пристрої керування моментом за-

палювання можуть бути класифіковані на аналогові й дискретні. Усі вони засновані на тому, що вироблюваний датчиком положення колінчатого вала сигнал формується відповідним чином і подається на комутатор первинного струму, тобто відсутній твердий механічний зв'язок між датчиком і котушкою запалювання.

Електронні пристрої керування усувають недоліки механічних автоматів, які полягають у наступному:

- механічні автомати реалізують, як правило, найпростіші характеристики, що позначається на роботі двигуна негативно - втрачається потужність і економічність;
- згодом пружини автоматів послабляються, і потрібно їх регулювати або замінити;
- велика інерційність спрацьовування та гістерезис;
- через випар і стікання змащення вимагає періодичного обслуговування.

Створенню систем запалювання, заснованих на аналоговому принципі одержання й обробки інформації, сприяє, насамперед, їх невисока вартість і простота побудови.

У дискретних системах керування керуюча залежність записується в постійній запам'ятовувальній пристрій, звідки надалі, залежно від режиму роботи двигуна, зчитується той або інший кут випередження запалювання. Перевагою дискретних систем керування є менша в порівнянні з аналоговими системами схильність впливу зміни зовнішніх умов (температури, напруги живлення), а також можливість одержання оптимальних керуючих характеристик.

Дискретні системи керування можна розділити на два класи: цифрові системи (або системи керування із твердою логікою) і мікропроцесорні системи керування (або системи із програмувальною логікою).

Цифрові системи запалювання являють собою невеликі, різні по складності обчислювачі, порядок роботи яких задається спеціальним алгоритмом, реалізованим за допомогою з'єднаних у певній послідовності цифрових інтегральних схем. Вони є більш простими, надійними й дешевими в порівнянні з мікропроцесорними системами керування. Однак вони не дозволяють реалізувати керування кутом випередження запалювання з урахуванням великого числа параметрів внаслідок значного збільшення апаратних витрат.

Розвиток мікропроцесорної системи запалювання йде по шляху

ускладнення керуючих залежностей. Керування кутом випередження запалювання здійснюється в залежності не тільки від частоти обертання колінчатого вала, навантаження й температури двигуна, але також і від інших параметрів, наприклад температури усмоктуваного повітря, положення дросельної заслінки, включеної передачі.

Обчислювальний модуль подібних систем являє собою сукупність апаратно з'єднаних функціональних пристроїв (лічильників, реєстрів, тригерів і т.д.).

Програмувальні системи з'явилися проміжним кроком до систем керування кутом випередження запалювання (КВЗ) на базі мікропроцесорів і микроЕОМ.

Перші системи, у яких в якості обчислювального блоку використовувався мікропроцесор, були розроблені фірмами Chrysler (Lean Burn, 1976), Delco Electronics (Misar, 1977), Ford (EEC-1, 1978).

У цих системах також використовувався принцип програмного регулювання, у якості недоліків якого слід зазначити:

- низьку ефективність, обумовлену необхідністю одночасного обліку великої кількості параметрів зі складними функціональними зв'язками;
- високу вартість системи, пов'язану з великим числом точних датчиків, що задовольняють вимогам експлуатації автомобіля;
- низьку точність відтворення оптимальних параметрів, пов'язану з технологічним розкидом характеристик двигуна й впливом випадкових факторів експлуатаційного характеру, важко або таких, що зовсім не піддаються прогнозуванню при складанні програм регулювання.

Крім вище названих, з'являються системи програмного регулювання, що мають зворотні зв'язки (змішані системи, або, так звані замкнені системи керування КВЗ), у яких значення КВЗ змінюється з урахуванням ряду вхідних параметрів двигуна.

У більшості випадків розроблювачі намагаються використовувати параметри зворотного зв'язку, що побічно характеризують параметри оптимізації системи контролю детонації, системи збідніння складу суміші, системи стехіометричного контролю складу суміші по вмісту кисню в продуктах згорання.

По способу керування моментом іскроутворення замкнені системи можна розділити на адаптивні й екстремальні.

В *адаптивних системах керування* момент іскроутворення, визначений по заздалегідь заданій програмі, коректується залежно від того або іншого вихідного параметра двигуна. До адаптивних систем можна віднести системи контролю детонації, а також системи, що враховують вміст кисню у вихлопних газах. Вони забезпечують більшу ефективність регулювання кута випередження запалювання й вільні від вищевказаних недоліків програмувальних систем автоматичного керування. В адаптивних системах здійснюється безперервний пошук оптимуму по заданому параметру.

В *екстремальних системах керування* оптимальний момент іскроутворення визначається не по заздалегідь заданому полю характеристик, а за максимальним значенням одного з вихідних параметрів двигуна. До таких систем можна віднести системи керування по максимуму індикаторної потужності, по максимуму крутного моменту на колінчатому валу двигуна і т.д.

Прикладом замкненої системи керування моментом іскроутворення може також служити система запалювання, що використовує для регулювання кута випередження запалювання параметри поширення фронту полум'я при згорянні паливно-повітряної суміші.

Експериментальні дослідження показали, що для досягнення максимальної потужності й економічності двигуна при поширенні полум'я в камері згорання, його фронт повинен досягати стінок камери в проміжку кута повороту колінчатого вала $10-20^\circ$. Ця умова використовується для визначення оптимального значення КВЗ.

Основними труднощами при створенні замкнених систем керування є керування КВЗ при несталих режимах роботи двигуна. Тому для регулювання моменту іскроутворення в цей час використовують системи з розімкнутим керуванням, а керування по замкненому контуру використовують у якості корекції при режимах роботи двигуна, що встановилися.

Необхідно відзначити, що проведених досліджень регулювання КВЗ на системах запалювання, заснованих на аналоговому принципі одержання й обробки інформації, вкрай недостатньо.

Хоча в порівнянні з мікропроцесорною системою та іншими електронними системами запалювання аналогова електромеханічна система має ряд переваг (простота конструкції, невисока вартість, гарна ремонтпридатність, мала трудомісткість виготовлення), вона має деякі недоліки, наприклад обмеження реалізованих характеристик.

Питання для самоперевірки

1. У якому році була запатентована котушкова система запалювання, та із чого вона складається?
2. У чому полягає різниця між системами з накопиченням енергії в ємності й у конденсаторі, яка з них одержала найбільше поширення й чому?
3. У який момент часу різко підвищується напруга у вторинній обмотці котушки запалювання й чому?
4. Яка основна вимога пред'являється до напруги вторинної обмотки котушки запалювання?
5. Яка складова напруги у вторинній обмотці більше по амплітуді, а яка - триваліша в часі?
6. Чим приводиться в рух кулачок переривника і яка його роль у роботі системи запалювання?
7. Навіщо в первинний ланцюг котушки запалювання включають додатковий резистор?
8. Через який механізм висока напруга подається до свічок запалювання?
9. Що являє собою котушка запалювання, із чого вона складається і як працює?
10. Як змінюється вторинна напруга котушки запалювання залежно від частоти обертання двигуна й чому?
11. Чим відрізняється контактнo-транзисторна система запалювання від контактної, як вона працює й в чому її перевага?
12. Якими пристроями в електронних системах запалювання замінений переривник контактної системи?
13. Як працює безконтактна система запалювання з нерегульованим часом накопичення енергії і в чому її недолік?
14. У чому перевага безконтактної системи запалювання з регулюванням часу накопичення енергії і як працює її електронна схема?
15. У чому принципова відмінність електронних систем запалювання від контактних і контактнo-транзисторних, і які недоліки останніх вони усувають?
16. У чому перевага дискретних систем керування моментом запалювання перед аналоговими?
17. Чим відрізняються адаптивні системи керування моментом запалювання від екстремальних?

18. У чому перевага безконтактних датчиків положення колінчатого вала в порівнянні з контактними?
19. Опишіть роботу оптичного генератора імпульсів.
20. Що таке «ефект Холла», як він використовується в датчику положення колінчатого вала і в чому його перевага в порівнянні з оптичним генератором?
21. У чому полягає принцип роботи індукційного датчика положення і як він влаштований?
22. Навіщо корегують форму сигналів датчиків у частотних системах керування моментом запалювання?
23. Як працює навантажувальний автомат кута випередження запалювання і яку функцію він виконує?
24. Опишіть структурну схему дискретної системи керування моментом запалювання.
25. Які переваги мають мікропроцесорні системи керування моментом запалювання в порівнянні із цифровими?
26. Що таке «карта запалювання» і як вона використовується в мікропроцесорній системі керування?
27. Поясніть схему цифрового керування моментом запалювання.
28. Який датчик дає мікропроцесору інформацію про навантаження двигуна?
29. Як сигнали датчика детонації використовуються для керування моментом запалювання?
30. Що таке «термістор» і як він використовується в датчику температури?
31. У чому полягає недолік індукційних датчиків частоти обертання двигуна?