

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Аутомобилско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Мотори СУС 1

Број индекса: 815/2014

Владица С. Живковић

САВРЕМЕНИ СИСТЕМИ ПАЉЕЊА СМЕШЕ КОД ОТО МОТОРА

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Радивоје Пешић, проф. - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише и анализира:

- Анализу утицаја система паљења смеше ото мотора на штетне емисије издувних гасова, потрошње горива и буке,
- Развој и поделе система паљења смеше ото мотора,
- Детаљан опис савременог система за паљење смеше ото мотора и свих његових делова, и
- Перспективе и трендови развоја система паљења смеше ото мотора,

Препоручена литература:

[1] Иван Филиповић: Мотори и моторна возила, Машински факултет Универзитета у Тузли, Тузла, 2006

[2] Пешић Р., Петковић С. и Веиновић С.: Моторна возила - Опрема, Машински факултет у Крагујевцу и Бања Луци, 2008

Крагујевац, 17.08.2017.

ментор:

Др Радивоје Пешић, проф.

РЕЗИМЕ

Предмет истраживања овог завршног рада су савремени системи паљења смеше горива и ваздуха код ото мотора. Полазећи од самог механизма одвијања паљења смеше, преко анализе почетних решења за овај проблем, основни циљ овог рада представља увид у најсавременије системе паљења смеше, као и могућности даље надоградње и развоја. Завршни рад је структуриран у пет делова. Први део бави се упознавањем са процесом одвијања запаљења смеше, као и законском регулативом у овој области. У другом делу, пажња је посвећена идејним решењима из прошлости, која су добро прилагођена ери аутомобила за коју су првобитно била намењена, и њихово одржавање и поправке се врше једноставно. Трећи део представља детаљан опис савременог система паљења смеше ото мотора и свих његових делова. Наредни део садржи преглед утицаја система паљења смеше код ото мотора на штетне емисије издувних гасова, потрошње горива и буке. У последњем делу су приказана нека решења која имају потенцијал да буду примењена у блиској будућности.

Кључне речи: ото мотор, систем паљења, варница, електронска управљачка јединица

ABSTRACT

The subject of the study of this final paper are modern ignition systems of the fuel and air mixture in petrol engines. Starting from the mechanism of igniting the mixture, through the analysis of the initial solutions for this problem, the main goal of this paper is to inspect the most modern ignition systems, as well as the possibilities of further upgrading and development. The final paper is structured in five parts. The first part deals with the process of igniting the mixture, as well as the legal regulations in this field. In the second part, attention is devoted to conceptual solutions from the past, which are well adapted to the era of the car for which they were originally intended, and their maintenance and repairs are done rather simply. The third section presents a detailed description of the modern ignition system in petrol engines and all its parts. The next section provides an overview of the impact of the ignition system on the emissions of exhaust gases, fuel consumption and noise. The final section presents some solutions that have the potential to be applied in the near future.

Keywords: petrol engine, ignition system, spark, electronic control unit

САДРЖАЈ

УВОД	1
1. РАЗВОЈ И ПОДЕЛЕ СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА	4
1.1 Класично батеријско паљење	5
1.2 Транзисторско паљење	8
1.3 Систем за паљење са капацитивним пражњењем.....	10
1.4 Електронско паљење	11
1.5 Системи за паљење са регулацијом детонација.....	12
1.6 Спрегнути системи за паљење смеше и за напајање горивом ото мотора.....	14
2. ДЕТАЉАН ОПИС САВРЕМЕНОГ СИСТЕМА ЗА ПАЉЕЊЕ СМЕШЕ ОТО МОТОРА И СВИХ ЊЕГОВИХ ДЕЛОВА.....	16
2.1 СИСТЕМ НЕИСКОРИШЋЕНЕ ВАРНИЦЕ.....	17
2.2 СИСТЕМ „ЈЕДНА БОБИНА – ЈЕДНА СВЕЋИЦА”.....	19
2.2.1 Сензор положаја коленастог вратила.....	20
2.2.2 Сензор положаја брегасте осовине.....	21
2.2.3 Индукциони калем	22
2.2.4 Модул паљења.....	25
2.2.5 Свећица	26
2.2.6 Дигитални систем управљања	32
3. АНАЛИЗА УТИЦАЈА СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА НА ШТЕТНЕ ЕМИСИЈЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА, ПОТРОШЊЕ ГОРИВА И БУКЕ	37
3.1 Тренутак паљења	37
3.2 Угао претпаљења	37
3.3 Подешавање угла паљења према квалитету горива	41
3.4 Праћење изостанка сагоревања	42
4. ПЕРСПЕКТИВЕ И ТРЕНДОВИ РАЗВОЈА СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА.....	43
4.1 Ласерски систем паљења.....	43
4.2 Систем контролисаног самозапаљења	44
4.3 Корона паљење.....	45
ЗАКЉУЧАК	47
ЛИТЕРАТУРА.....	48

УВОД

Мотори са страним извором паљења – ото мотори – имају историју дужу од једног века. Захваљујући малом габариту, умереној тежини и конструктивној једноставности потпуно су освојили путничка возила. Функција система за паљење је да упали смешу гориво-ваздух у погодном тренутку и изазове сагоревање смеше. Код ото мотора то се постиже помоћу електричне варнице која настаје између електрода свећице у цилиндру.

Под запаљењем смеше горива и оксиданта се подразумева иницирање хемијске реакције, која треба да се у току врло кратког времена убрза до тог степена, да се формира видљиви пламен, који се простира кроз простор. Механизам запаљења обухвата јонизацију и термичку дисоцијацију молекула, при чему настају активне честице (радикали), које побуђују ланчане хемијске реакције и ослобађање топлоте потребне за убрзавање претпламених реакција[1].

На почетку развоја мотора са унутрашњим сагоревањем паљење радне смеше у цилиндру мотора, у тачно одређеном тренутку, било је један од највећих проблема, на том нивоу развоја просто нерешив. Карл Бенц, проналазач мотора, назвао га је „проблемом над проблемима”. У почетку је паљење решавано помоћу пламена, усијане цеви или такозваног нисконапонског – оксидујућег паљења. Решења су се стално смењивала, али ни једно није у потпуности задовољавало. Овај проблем је квалитетно и трајно решен тек увођењем високонапонског паљења[2].

Да би се постигло квалитетно паљење и сагоревање гориве смеше које резултира великом излазном снагом и добром економичношћу потребно је да брзина сагоревања буде велика али контролисана (да нема samozапаљења гориве смеше). На брзину сагоревања гориве смеше утиче више параметара од којих су најважнији степен компресије, однос гориво-ваздух, положај свећице, тренутак паљења, степен турбуленције и количина заосталих издувних гасова у цилиндру.

Варница пали један мали део смеше који представља језгро пламена од кога се пламен шири образујући фронт пламена при чему сагорева остали део гориве смеше у цилиндру. Веома је важно да до паљења гориве смеше дође у правом тренутку да би се постигао максимални притисак у цилиндру у моменту када је клип у спољној мртвој тачки (СМТ). Тренутак паљења треба да се одабере тако да се добије максимална снага мотора, економична потрошња горива, избегну детонације у мотору и да се емитује минимална количина штетних емисија. За сваки радни режим мотора треба посебно одредити оптималан тренутак паљења јер су услови упаљења у сваком режиму различити. Оптималан тренутак паљења зависи од броја обртаја мотора, оптерећења, конструкције мотора, горива и радног режима мотора (стартовање, празан ход, парцијално оптерећење, пуно оптерећење...).

Свећица треба да заузима положај у коме се најбоље прихвата варница за паљење и формирање најповољнијег просторног распореда језгра пламена од кога се шири фронт пламена. Код свећице битно утиче и растојање између електрода јер ако је оно веће већа је и варница па је упаљење поузданије мада се то растојање не може произвољно повећати. За поуздано паљење неопходно је да варница траје док се не упали горива смеша[3].

Инсталација за принудно паљење има на моторима са унутрашњим сагоревањем следеће **основне задатке**:

1) Да на свим режимима рада мотора и предвиђеним температурама околне атмосфере, обезбеди сигурно запаљење смеше горива и ваздуха у току сваког радног циклуса.

2) Смеша треба да се запали на одређеном месту у радном простору мотора и у тачно дефинисаном моменту у току такта сабијања, тј. код одређеног положаја клипа у односу на СМТ.

3) Код вишецилиндричних мотора, запаљење мора да се изврши по цилиндрима према одређеном редоследу и при једнаким условима.

4) Инсталација својим радом не сме да омета рад других електричних уређаја на мотору и у његовој ближој околини.

При разматрању комплексне проблематике запаљења смеше, конструкције и рада целокупне инсталације и њених елемената, од посебног интереса су следећа питања:

а) Услови запаљења: избор свећице одговарајуће конструкције и техничких особина, с обзиром на минимално потребну енергију електричног лука, њен положај и смештај, да би се обезбидило сигурно запаљење при разним аеродинамичким и термичким стањима радне материје у цилиндру, степену сабијања, саставу смеше, особинама горива и сл.

б) Размештај и број свећица обзиром на запаљење, простирање пламена и нормално сагоревање, цикличну варијацију запаљења и сагоревања (стабилност сагоревања и запаљења).

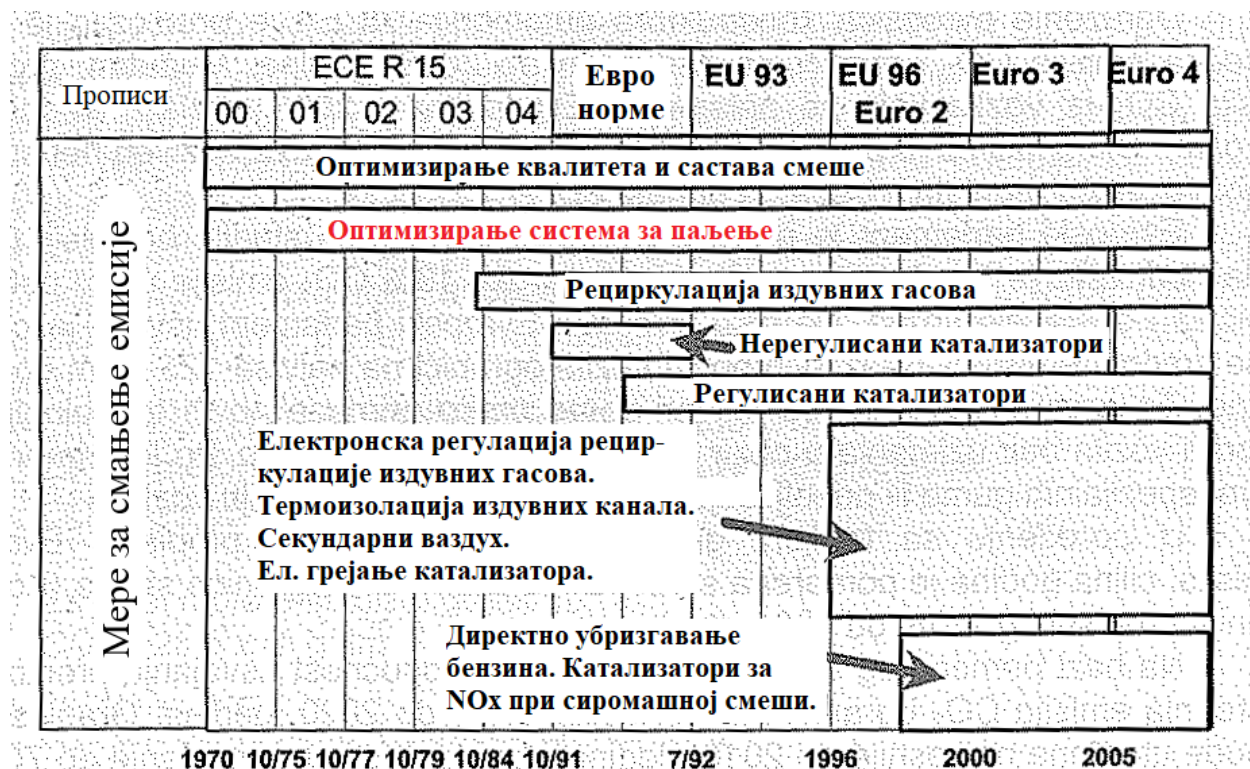
ц) Избор одговарајућег угла запаљења (угла претпаљења) и његова регулација обзиром на режим рада мотора (обртна брзина и оптерећење), али и с обзиром на друге аспекте, као: остварење максимално могућег рада, минималне потрошње горива, минималне емисије токсичних супстанци, $\text{CO} + \text{NO}_x$, C_xH_y , буке и сл.

д) Сигурност рада, трајност и приступачност инсталације на мотору. Избор одговарајућег извора електричне енергије обзиром на примену мотора, његову тежину или друге специфичне захтеве.

Да би се ови проблеми могли успешно решавати, побољшавати постојеће и развијати нове инсталације за паљење смеше, потребно је проучити услове запаљења, конструкцију и рад инсталације а поготово неких њених основних елемената[1].

Како би се задовољили све строжи законски прописи, потребна су нова конструкциона и технолошка решења, чија је динамика увођења у прошлости приказана на слици 1.

Конструктори мотора су прве интервенције извршили на систему за припрему смеше и на систему паљења са циљем да се на самом извору смањи настајање отровних продуката. Како је квалитет смеше (удео парних фаза горива у смеси горива и ваздуха) од битног значаја за потпуност сагоревања горива у цилиндру, и самим тим за стварање отровних продуката сагоревања, том систему се и данас посвећује посебна пажња. Дошло се до бројних напредних решења у овој области, а последња реч технике је директно убризгавање бензина у цилиндар.



Слика 1: Развој опреме ото мотора[2]

Паралелно са интервенцијама на систему за припрему смеше вршено је и усавршавање и оптимизирање система за паљење у смислу појачања енергије варнице због сигурног упаљења и сиромашне смеше, јер неколико изостајања упаљења смеше у цилиндру може уништити катализатор, као и оптималне промене угла претпаљења у читавом опсегу рада мотора[2].

1. РАЗВОЈ И ПОДЕЛЕ СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА

Подела система према начину на који се акумулира енергија непосредно пре електричног пражњења:

- Индуктивни системи – енергија се акумулира у намотајима индукционог калема (енергија магнетног поља)
- Капацитивни системи – енергија се акумулира у кондензатору

Подела система према начину образовања импулса за паљење:

- Системи са механичким прекидачем – импулс за почетак паљења добија се механичким путем, прекидом контакта на механичком прекидачу
- Системи без механичког прекидача – безконтактни системи код којих се импулс добија електронским путем

Према извору електричне енергије инсталације за паљење се деле на:

- батеријске, код којих се инсталација снабдева електричном енергијом од батерије, односно акумulatora, а у раду мотора са електричним генератором, односно алтернатором
- магнетне, код којих се у примарном кругу електрична енергија остварује индукцијом[1]

Код светског лидера у производњи система паљења, напајања горивом и управљања возилом *Bosch*-а сви системи паљења се сврставају према времену појављивања у четири класе:

1. **Класични системи паљења** су најједноставнији системи код којих механички прекидач у разводнику паљења прекида коло примарне струје па се моменат прескакања варнице одређује подешавањем положаја разводника, а затим коригује механичким центрифугалним и пнеуматским регулаторима. Ова техника не може да задовољи данашње еколошке норме јер не одржава сталне вредности угла појаве варнице нити гарантује сигурно упаљење смеше како због трошења делова тако и због њихове старости.

2. **Транзисторски системи паљења** су поуздани што се тиче сталне вредности момента прескакања варнице кроз читав век мотора. Имају управљачки транзистор за јаку струју и бесконтактни давач. Зато је струја у бобини већа и цео систем је са бољим учинком. Одржавање је једноставније, а испуњење прописа олакшано јер се гарантује упаљење смеше чак и када је сиромашна (мада је до сада већина еколошких прописа задовољена концептом $\lambda=1$). Висока поузданост – сталан угао паљења, дуг век, висок садржај енергије, нема делова изложених трошењу – без опасности од изостајања паљења је предност важна за све варијанте возила са катализаторима.

3. **Прво електронско паљење** може да се користи као независан или као комплексан систем. Овде се разводник користи само за развод у колу високог напона. Информације о броју обртаја се узимају од давача са брегастиг или коленастог вратила. Тренутак прескакања варнице се може произвољно задавати по целом радном пољу мотора.

4. **Потпуно електронизирани систем паљења** са дигиталним управљањем су по *Bosch*-овој класификацији четврта генерација система за паљење. Механички ротирајући разводник високог напона (ROV) је замењен електронским компонентама. Зато се говори о мирујућем високонапонском разводнику (RUV). Тренутно у возном парку Европе једноставни системи са механичким прекидачима паљења нестају са тржишта. Електроника излази у сусрет увек актуелним задацима у смислу даљег развоја и смањења трошкова без угрожавања функција и поузданости возила и мотора. Када томе додамо функционалне предности електронских система, слика 2, онда видимо да једино електронски системи имају будућност[2].



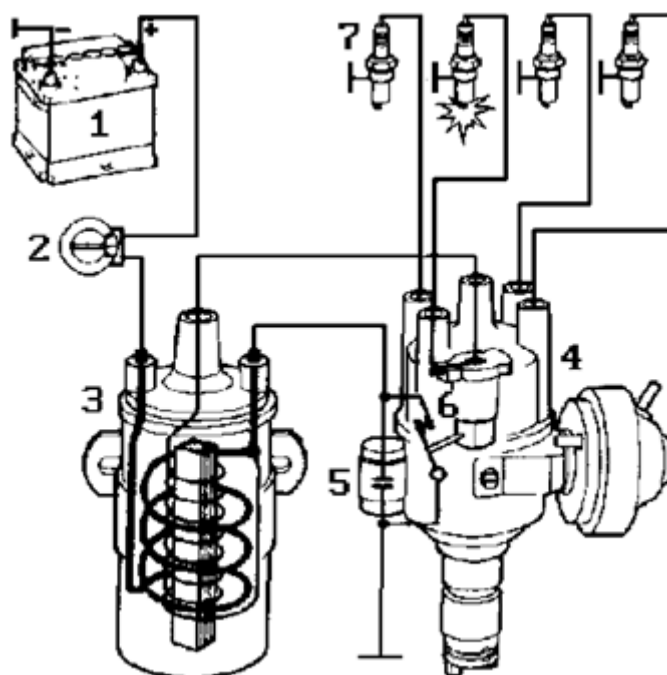
Слика 2: Напон секундара код различитих система паљења[2]

1.1 Класично батеријско паљење

Класично батеријско паљење јесте систем за паљење који се састоји из више електромеханичких елемената који се користио у дужем временском периоду пре појаве електронских система. Код њега се потребна енергија за упаљење узима из акумулаторске батерије.

Код батеријских система за паљење до варнице се долази помоћу индукционог калема (бобине). Бобина ради на принципу сличном аутотрансформатору, у себи акумулира енергију из батерије и у потребном тренутку врши њену трансформацију у високонапонске импулсе потребне за формирање варнице. Акумулација енергије обавља се у периоду између појаве варница, а њена величина је много пута већа од енергије потребне за паљење, и износи 60 - 120 mJ. Максимални напон на секундару износи је 25 - 30 kV, а и он је већи од напона неопходног за образовање варнице (око 15 kV). Велика количина резерве, како енергије, тако и напона је неопходна, на пример, при хладном старту, када су услови паљења веома неповољни.

Слика 3 приказује принципијелну шему батеријског система паљења.



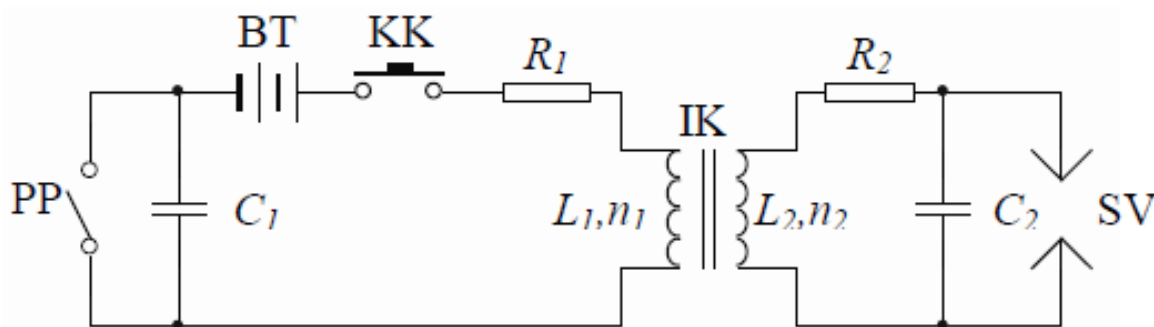
Слика 3: Класично батеријско паљење[3]

1 – батерија, 2 – контакт кључ, 3 – индукциони калем, 4 – разводник паљења, 5 – кондензатор, 6 – прекидач паљења, 7 – свећице

Разводник паљења служи за развод високонапонских импулса преко високонапонских каблова, до свећица. Разводник, прекидач паљења и механизам за померање угла претпаљења се у највећем броју случајева налазе у истом кућишту.

Прекидач паљења („платинска дугмад“) је скуп контаката који врше прекидање примарног калема индукционог калема. Контакти се отварају и затварају помоћу осовине са гребенима, која је смештена у разводнику, и директно повезана са коленастим вратилом.

Слика 4 приказује еквивалентну електричну шему батеријског система паљења. Према слици 4, РР је прекидач паљења, КК контакт кључ, U_b је напон батерије ВТ, ИК индукциони калем, L_1 индуктивност а R_1 укупна отпорност примарног кола индукционог калема, L_2 индуктивност а R_2 укупна отпорност секундарног кола индукционог калема, C_1 капацитивност кондензатора, C_2 укупна капацитивност секундарног кола индукционог калема, n_1 број навојака примарног кола индукционог калема, n_2 број навојака секундарног кола индукционог калема.



Слика 4: Еквивалентна електрична шема батеријског система паљења[3]

Кондензатор C_1 паралелно је везан са прекидачем паљења, и он служи да при отварању прекидача паљења спречи појаву лука, и уз то да омогући трансформацију акумулиране енергије у калему, у високонапонске импулсе.

Када су контакти прекидача паљења затворени, кроз примарно коло бобине тече струја, којој са временом расте јачина, тиме стварајући јако магнетно поље у намотајима бобине. У тренутку паљења прекидач прекида струјно коло примара, а у секундарним намотајима бобине врши се индукција високонапонског импулса, који се помоћу разводника паљења одводи до свећице, и тада се јавља варница која врши запаљење гориве смеше.

Мотори имају највеће снаге и најмање потрошње горива када се максимални притисци налазе $12\div 15^\circ$ после СМТ. Пошто се са променом радних режима и регулационих параметара мотора мењају сва стања у цилиндрима, неопходно је мењати и угао претпаљења у циљу остваривања жељених перформанси.

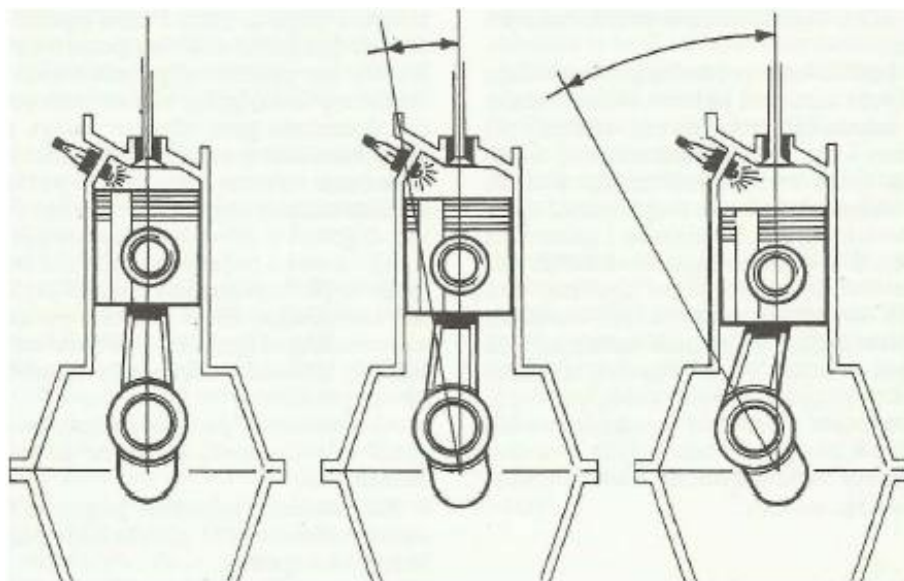
Механизам за промену угла претпаљења углавном се састоји из два дела:

- центрифугалног механизма и
- вакуумског коректора.

Центрифугални механизам за корекцију угла претпаљења служи да са повећањем броја обртаја мотора изврши повећање угла претпаљења. То се врши уз помоћ тегова и опруга који ротирају.

Вакуумски коректор користи се за корекцију угла претпаљења на основу потпритиска у уисном колектору. У случају празног хода, велика је количина заосталих гасова у цилиндру, стога је брзина сагоревања мала, па је потребно повећати угао претпаљења, како би се снага мотора повећала. Потпритисак у уисном колектору је у овом случају велики, из разлога што је пригушни лептир затворен.

На слици 5, лево, мотор ради на празном ходу, а вакуумски регулатор паљења је искључен, тако да нема ни вакуумске ни центрифугалне регулације паљења. На слици 5 у средини број обртаја мотора је повећан на 1000 о/мин и центрифугални регулатор ради. И на крају, на слици 5 десно, при 2000 о/мин раде и центрифугални и вакуумски регулатор паљења, тако да се варница на свећици јавља раније.



Слика 5: Утицај примене регулатора паљења[4]

Основни недостаци класичног батеријског система паљења су:

- смањење секундарног напона са смањењем бројем обртаја мотора,
- ерозија контаката прекидача паљења због великих струја које протичу кроз контакте,
- промена угла претпаљења због хабања клизних делова прекидача паљења, и
- прекидач паљења због своје инерције при великим бројевима обртаја не може да прати осовину са гребенима.

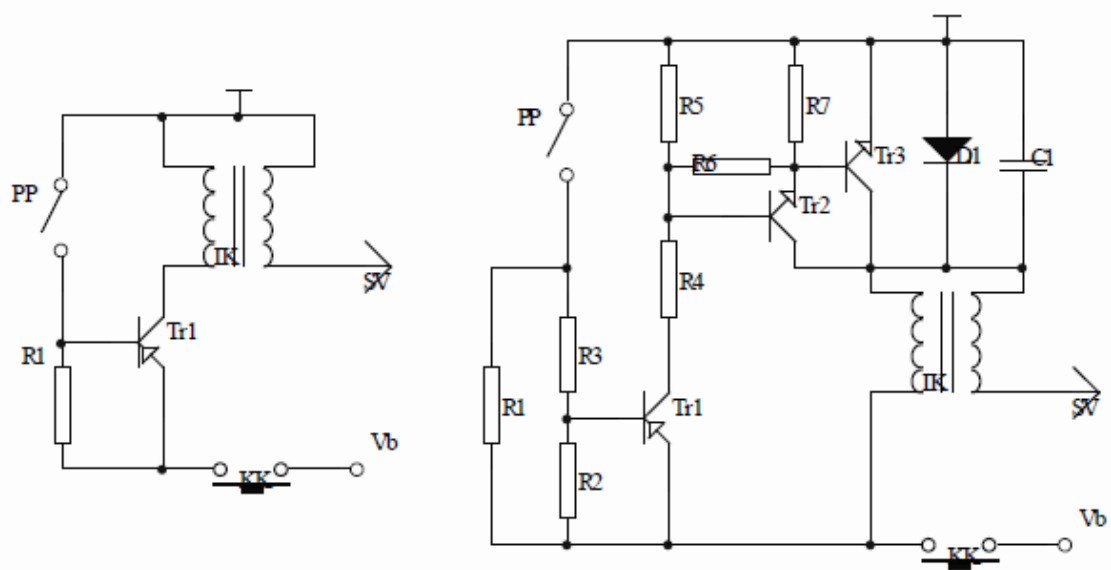
1.2 Транзисторско паљење

Основни недостатак класичног система паљења огледа се у томе што је максимална дозвољена струја кроз контакте прекидача паљења ограничена, јер би њено повећање резултовало скраћењем времена акумулације веће енергије у бобини.

Није могућа већа количина струје код батеријских система, из разлога што са повећањем струје расте и ерозија контаката, што смањује поузданост система паљења. Као решење овог проблема појављује се транзистор снаге, који служи као енергетски прекидач, или сложенији електронски склопови који бесконтактно прекидају примарно коло бобине. Стога се такви системи паљења називају транзисторски системи паљења.

Побуда прекидачких транзистора обавља се окидним колима, које за одређивање положаја коленастог вратила могу користити прекидач паљења или бесконтактне даваче.

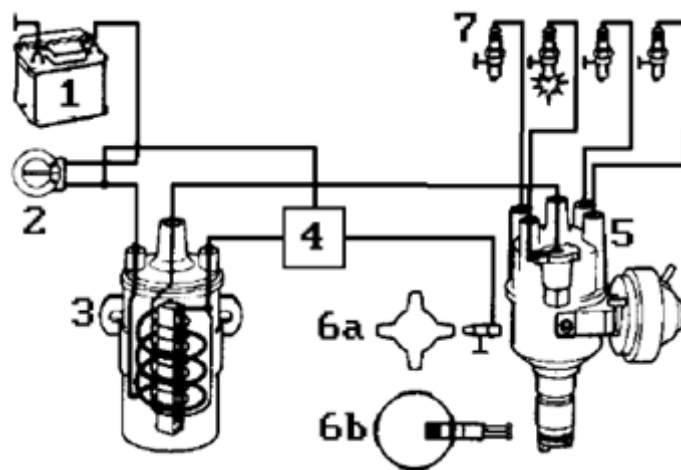
Транзисторски системи за паљење са прекидачем паљења (слика 6) примењују се у циљу осавремењивања постојећих возила, јер не захтевају веће промене у инсталацијама возила. Уз њихову помоћ се врши прекидање великих струја, акумулише се већа енергија у бобини, и то за краће време, али се тиме не рашава хабање клизних делова прекидача паљења.



Слика 6: Транзисторски системи за паљење са прекидачем паљења[3]

Предност бесконтактног транзисторског паљења јесте што не садржи клизне делове, па нема хабања, и нема потребе за посебним одржавањем, док је тренутак паљења прецизно одређен.

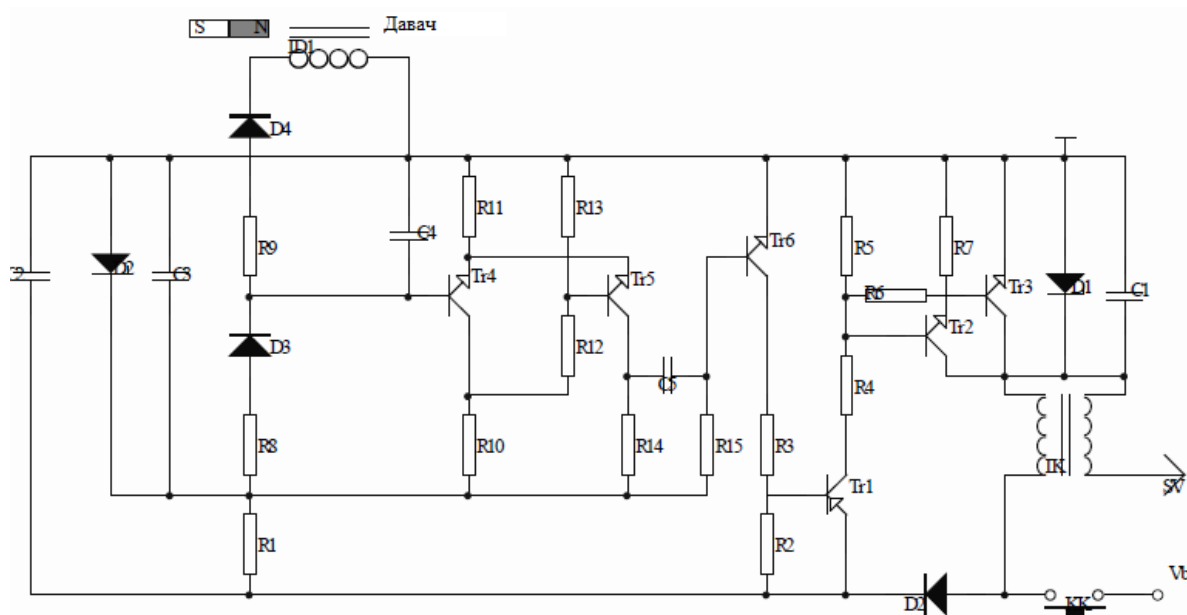
Бесконтактни транзисторски системи паљења поседују давач положаја коленастог вратила који углавном ради на магнетном принципу, мада постоје и лабораторијски системи који раде оптички. Прва врста давача су у највећем броју случајева индукционог типа или раде на принципу *Hall*-овог ефекта. Побуда давача се најчешће врши сталним магнетом или назубљеним точком, који ротира, и они су смештени у разводнику паљења. Слика 7 приказује принципијелну шему бесконтактног транзисторског система паљења.



Слика 7: Бесконтактни транзисторски систем паљења[3]

1 – батерија, 2 – контакт кључ, 3 – индукциони калем, 4 – електронски излазни степен, 5 – разводник паљења, 6a – индукциони давач, 6b – Hall-ов давач, 7 - свећице

Слика 8 приказује електронску реализацију бесконтактног транзисторског система паљења.



Слика 8: Бесконтактни транзисторски систем паљења[3]

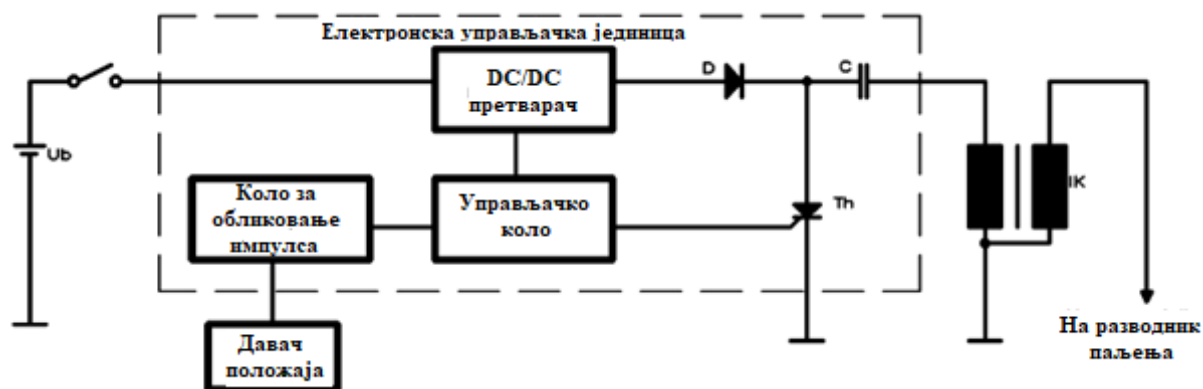
Промена угла претпаљења код транзисторског паљења обавља се исто као код класичног система паљења, центрифугалним механизмом и вакуумским коректором.

Разлика између индукционог калема транзисторских система паљења и оног који се користи код класичног система јесте у већем преносном односу и мањем отпору примарног кола. Преносни однос је неопходно повећати због мањег напона на примару индукционог калема. Отпор примара је потребно умањити како би се извршило повећање струје примарног кола. Неопходно је поменути да се индукциони калем транзисторског паљења ни у ком случају не сме мењати индукционим калемом класичног паљења.

1.3 Систем за паљење са капацитивним пражњењем

Систем за паљење са капацитивним пражњењем често носи назив „тиристорско паљење”, због тога што се тиристор употребљава као прекидачки елемент. У овом систему се енергија потребна за појаву варнице акумулира у електричном пољу кондензатора. Индукција високонапонског импулса неопходног за појаву варнице се врши пражњењем кондензатора кроз примарно коло индукционог калема.

Слика 9 нуди приказ принципијелне блок шеме система за паљење са капацитивним пражњењем. У склопу електронске управљачке јединице (ЕУЈ) постоји DC/DC претварач, који служи да једносмерни напон батерије (12 V) претвори у већи, једносмерни напон (око 400 V), који служи за пуњење кондензатора C преко диоде D. Како би се повећала акумулирана енергија у кондензатору потребно је повећати напон. Уз помоћ давача положаја се одређује потребан момент појаве варнице, окида се тиристор и долази до пражњења кондензатора кроз примарно коло индукционог калема и на свећици настаје високонапонски импулс. Давач положаја може бити контактан (као прекидач паљења) или бесконтактаног типа. Центрифугални регулатор и вакуумски коректор се користе за регулацију угла претпаљења.



Слика 9: Систем за паљење са капацитивним пражњењем[3]

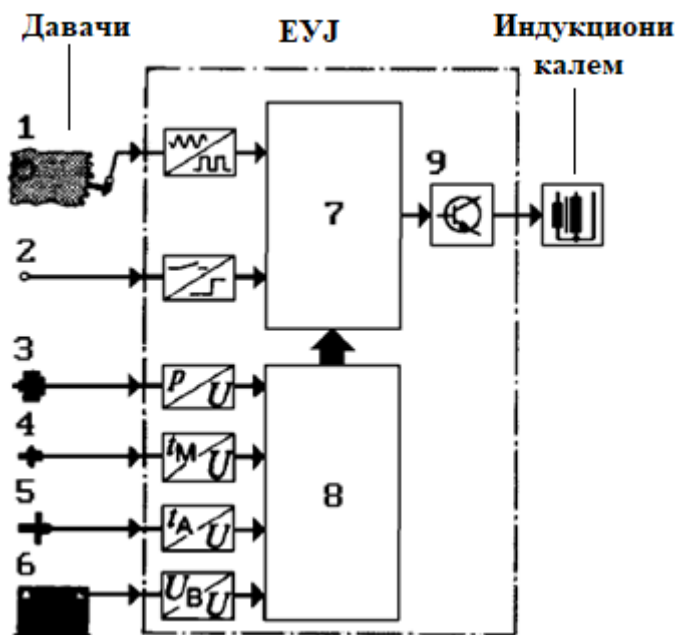
Енергија се акумулира у веома кратком периоду, што је главна предност овог система, па је овај систем паљења посебно применљив у случају вишечилиндричних мотора. Мана му је кратко трајање варнице (од 0,1 до 0,3 ms), што је недовољно за поуздано паљење код стандардних четвороцилиндричних мотора, што ограничава примену овог система на посебне врсте мотора.

1.4 Електронско паљење

Код електронског паљења се тренутак паљења и трајање струје кроз индукциони калем одређује помоћу склопова електронске природе, без потребе примене центрифугалних и вакуумских коректора угла паљења. Ово је довело до велике сложености ЕУЈ, а микрокомпјутер је њен саставни део.

Одређивање угла претпаљења у свим радним режимима мотора повлачи потребу познавања одређених радних параметара у сваком тренутку, па је су уведени бројни давачи разних физичких величина, којима се врши одређивање радних режима.

Слика 10 приказује блок шему електронског паљења код које су приказане основне физичке величине које се мере и давачи који се користе за та мерења. Зависно од врсте сигнала који се добијају од давача, потребно их је обрадити пре рачунања угла претпаљења, и превести их у облик неопходан за вршење израчунавања у микрокомпјутеру. Неопходно је да сви сигнали буду импулсног типа, или да су приказани бинарним бројевима.

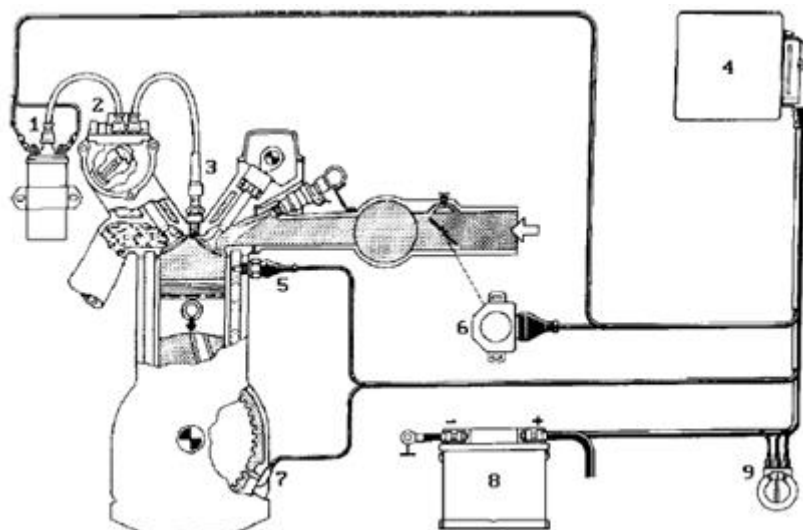


Слика 10: Блок шема електронског паљења[3]

1 – давач броја обртаја, 2 – прекидачки сигнали, 3 – притисак у усисном колектору, 4 – температура мотора, 5 – температура ваздуха у усисном колектору, 6 – напон батерије, 7 – микроконтролер, 8 – A/D конвертори, 9 – излазни степен

Излазни степен садржи прекидачки транзистор у дарлингтоновој спрези и може да се нађе у оквиру ЕУЈ, мада је могуће да буде посебан модул.

Слика 11 приказује шему једног типа електронског паљења. У овом случају број обртаја мотора и положај коленастог вратила се одређују преко истог индукционог давача. За мерење потпритиска у усисном колектору се примењује веза између положаја пригушног лептира и потпритиска, а потенциометарски давач се користи за одређивање положаја лептира.



Слика 11: Електронско паљење са разводником паљења[3]

1 – индукциони калем, 2 – високонапонски разводник, 3 – свећице, 4 – ЕУЈ, 5 – давач температуре мотора, 6 – давач положаја лептира, 7 – индуктивни давачброја обртаја, 8 – батерија, 9 – контакт кључ

Развод високог напона са индукционог калема до свећица обавља механички разводник, који је у директој вези са коленастим вратилом.

У току радног века мотора, није потребно посебно одржавање и подешавање електронског паљења.

1.5 Системи за паљење са регулацијом детонација

При нормалном сагоревању брзина простирања пламена у цилиндру је релативно мала, међутим, при одређеним условима могуће је нагло сагоревање, и брзина пламена може да достигне брзине веће од брзине звука. То доводи до јављања експлозија (детонација) у цилиндра, које могу оштетити или уништити цилиндар или клип. Овакво сагоревање носи назив детонантно сагоревање.

До детонације може доћи услед конструкције коморе за сагоревање, превеликог степена компресије, неадекватног горива, неадекватне гориве смеше, и превеликог угла претпаљења.

Конструкција коморе за сагоревање утиче на појаву детонација тако што регулише турбуленцију гаса који доводи до равномернијег сагоревања.

Велики степен компресије доводи до повећања брзине пламена, док његово прекомерно повећање доводи до повећања температуре у цилиндру и самозапаљења смеше у тачкама које нису у фронту пламена, што доводи до детонација.

Неадекватно гориво изазива детонације у случају да се користи гориво које има мању октанску вредност, која изражава отпорност горива на детонације.

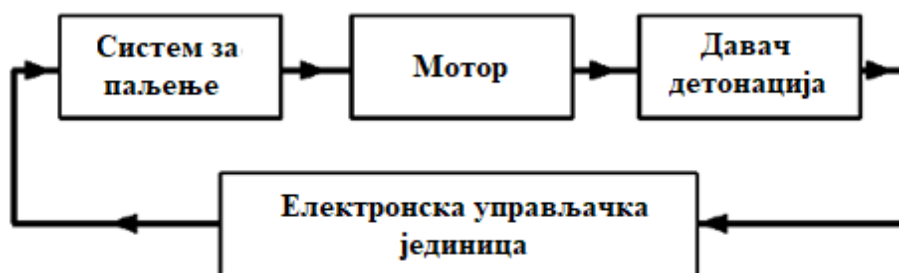
Сиромашна горива смеша, из разлога што садржи више кисеоника, брже гори, повећава се температура, па је повећана могућност појаве детонација.

Повећање угла претпаљења изазива велики притисак и температуру у цилиндру, што представља предуслов за појаву детонација.

Најбољи параметар за спречавање детонација је промена угла претпаљења. Одређивање угла претпаљења са циљем спречавања детонација је противно захтевима минималне потрошње и минималне емисије, јер ти захтеви у великом броју случајева повлаче угао претпаљења који проузрукује детонације. Стога се тражена вредност угла претпаљења смањује на ону вредност која је умањена за вредност зоне сигурности. То доводи до потребе за системом управљања који елиминише детонације у свим режимима рада мотора, уз максимално могућу вредност угла претпаљења.

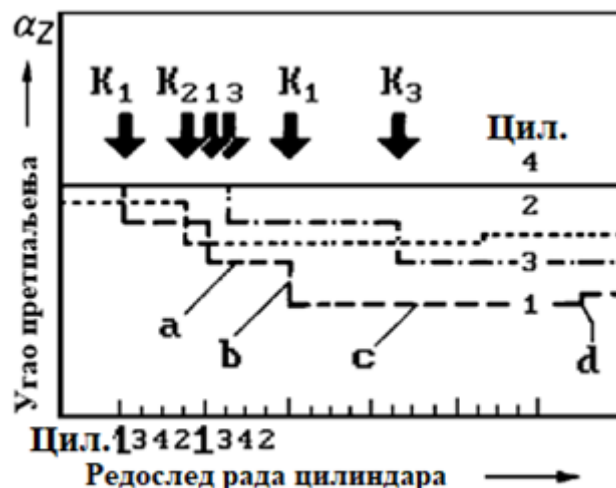
Систем за регулацију детонација ради у затвореној петљи. Потребно је да открива појаву детонација и да на основу њих мења вредност угла претпаљења. Појаве детонације се одређују давачима детонација, који за сваки цилиндар посебно мере детонације. Ови давачи су углавном пиезоелектрични и налазе се испод свећица или близу њих, на глави мотора.

Слика 12 приказује блок шему система за регулацију у затвореној петљи. Давач детонација врши детектовање вибрација мотора и ствара сигнал који се филтрира у ЕУЈ филтром пропусника учестаности, ради издвајања сигнала детонација. То издвајање се обавља упоређивањем сигнала са давача са меморисаним сигнаlima мотора у случају када нема детонација, за исто оптерећење и број обртаја мотора. У случају да је утврђена појава детонација ЕУЈ врши смањивање угла претпаљења.



Слика 12: Блок шема система за регулацију детонација[3]

Слика 13 приказује принцип регулације угла претпаљења за четвороцилиндрични мотор. На хоризонталној оси су тренуци СМТ у појединим цилиндима, док је на вертикалној угао претпаљења. Великим словом К обележена је појава детонација у цилиндру а индексом број цилиндра. Регулација се обавља тако што се умањује угао претпаљења за фиксну вредност „b” само за цилиндар у коме се догодила детонација. У случају да у току времена „с” не дође до поновне детонације врши се повећање угла претпаљења за вредност „d” која је мања од „b”. Ако у наредном периоду који има дужину „с” опет не дође до детонација, врши се увећање угла претпаљења за вредност „d”. Уколико поново дође до детонација после времена „a” које је мање од „с” врши се смањење угла претпаљења за вредност „b”. У примеру који је дат на слици 13 детонације на четвртом цилиндру се нису појављивале.



Слика 13: Регулација угла претпаљења[3]

Систем за регулацију ради увек на граници детонација независно од горива које се користи, тако да се у возилима са овим системом може користити гориво мање октанске вредности, што умањује економичност и максималну снагу мотора.

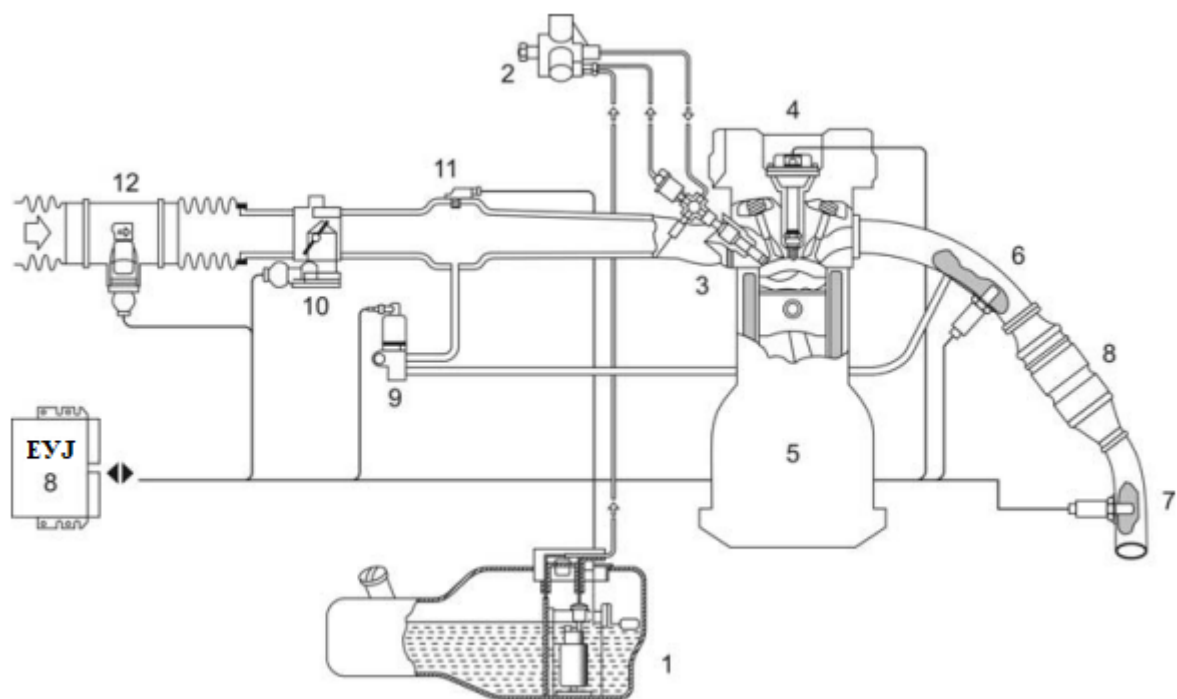
Најчешће је систем за регулацију детонација интегрисан у оквиру електронског паљења.

1.6 Спрегнути системи за паљење смеше и за напајање горивом ото мотора

Једини начин да се оптимизује и контролише радни процес у сваком цилиндру је примена спрегнутих система. Код дигиталних система користимо све предности модерне електронике за усаглашавање система паљења са бројним захтевима возила. Једноставније варијанте дигиталног паљења су радиле у отвореној петљи, а савршеније оптимизују моменат паљења по снази, економичности, емисији, буци, врсти горива и сл. Како су ти исти критеријуми обавезујући за систем напајања горива модерни уређаји за контролу рада мотора имају ова два система спрегнута (слика 14).

За сада ће као завршна фаза физичког оформљења врхунског система паљења бити усвојен модуларни систем паљења. Сваки модул у целини припада једном цилиндру, а онда се усакађује са системом најпања горивом и осталим функцијама возила уважавајући највиша достигнућа технике. Код електронског паљења се између осталог води рачуна о максималном дозвољеном броју обртаја. Рецимо систем за мотор од 6000 о/min већ на 6200 прекида рад. Међутим, због заштите катализатора захтева се прекид у систему напајања горивом, а не у систему паљења и тд.

Током рада мотора мењају се бројеви обртаја, састави смеше, положај команде гаса, притисци и температуре у цилиндру. Свакој од тих промена одговара другачија вредност *коректног угла паљења*. Фабрички угао паљења смеше се бира из услова да мотор ради мирно и поуздано. Пројектант возила се опредељује за минимални број утицаја на основу којих ће формирати закон *оптималног паљења смеше*.



Слика 14: Спрегнути систем за паљење смеше и за напајање горивом ото мотора Motronic MED7 фирме Bosch[5]

- 1 - резервоар за гориво са модулом и елек. пумпом, 2 - пумпа за бензин под високим притиском, 3 - брызгач, 4 - модул за паљење, 5 - мотор, 6, 7 - ламда сонда, 8 - катализатор, 9 - рецикулација издувних гасова, 10 - електронска педала гаса, 11 - давач депресије на усису, 12 - мерач протока ваздуха и давач температуре

2. ДЕТАЉАН ОПИС САВРЕМЕНОГ СИСТЕМА ЗА ПАЉЕЊЕ СМЕШЕ ОТО МОТОРА И СВИХ ЊЕГОВИХ ДЕЛОВА

У деловима аутомобила у којима су, са временом, замењене механичке компоненте, електроника по правилу нуди виши ниво поузданости неких система. Такође, ту су и једноставнија конструкција, нижа цена и мања маса целог система. Уосталом, заменом масивног, металног разводника паљења „црном малом кутијом” у којој се налази тек пар електроничких компоненти, уштеда на маси неће бити занемарљива.

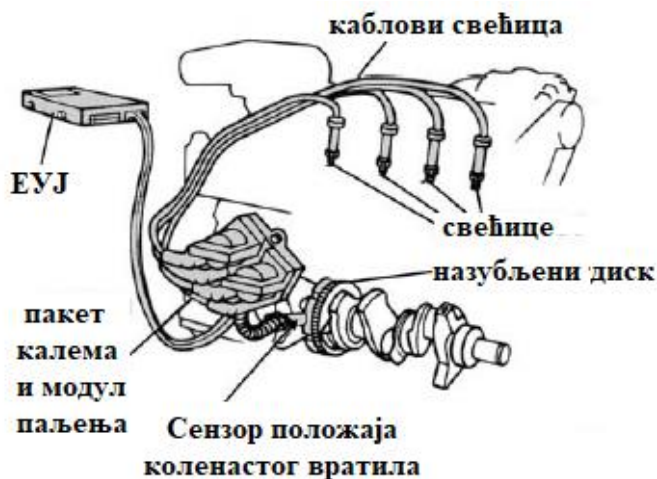
Већина власника данашњих аутомобила неће, када завири под поклопац мотора, наићи на ништа што би било налик разводнику паљења. Ради се о томе да модерни мотори, захваљујући првенствено електронским системима имају знатно једноставније решено паљење. У модерним аутомобилима је (термин „модерним” односи се на већину возила произведених такон 1980-их година) склоп великог индукционог калема и механичког разводника паљења, заједно са његовим вакуумским (или неким другим, зависно од верзије) системом промене тренутка паљења, заменио комплет од неколико електронских компоненти.

Данашњи системи паљења по правилу не разводе струју високог напона (као код механичког разводника), већ се функција развођења напона одвија у примарном кругу (ниског напона). Нисконапонски пулс тако се доводи до појединачних индукционих (висконапонских) бобина које су распоређене по један за сваку свећицу или по један за свака два цилиндра.

Наравно да конструктори аутомобила нису напрасно одлучили заменити механичке разводнике паљења електронским системима, овај процес је текао постепено.

Заменом механичког, ротационог разводника паљења статичким електронским компонентама електронско паљење постаје потпуно електронизовано и такво паљење се назива **електронско паљење без разводника** (енгл. *DIS – Distributorless Ignition System*). У том типу паљења у односу на паљење са механичким разводником измене су извршене на индукционом калему и евентуално на излазном степену.

Слика 15 приказује шему електронског паљења без разводника код кога се напајање свећица високим напонем врши директно из индукционог калема.

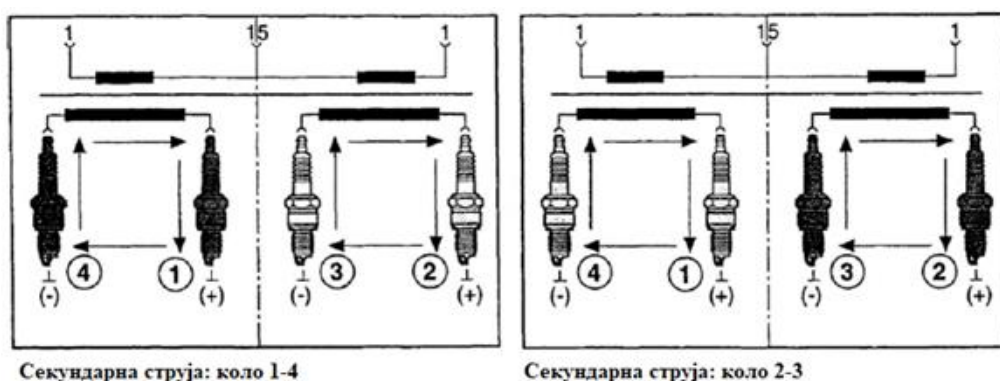


Слика 15: Шема електронског паљења без разводника[6]

2.1 СИСТЕМ НЕИСКОРИШЋЕНЕ ВАРНИЦЕ

Најчешћа реализација електронског паљења без разводника код четвороцилиндричних мотора је да се у исто кућиште сместе два индукциона калема од којих сваки има два високонапонска кабла која воде до одговарајућих свећица.

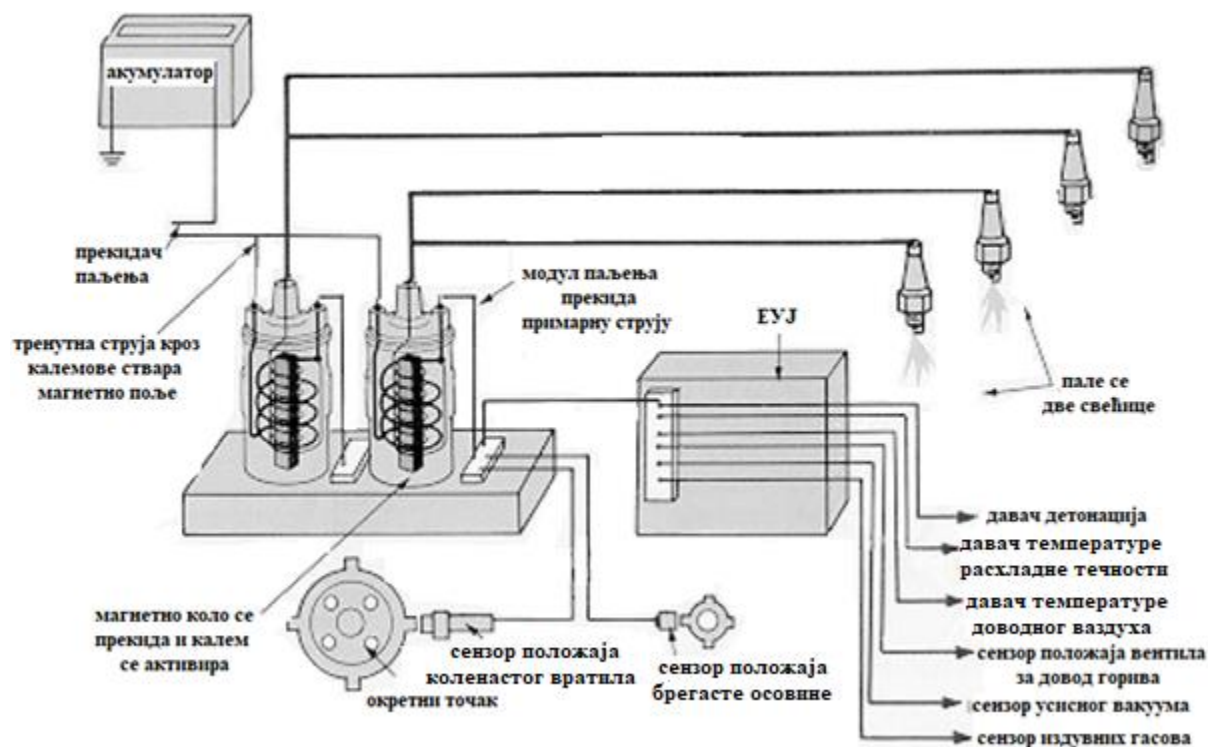
Побуда тих индукционих калемова врши се помоћу два посебна излазна степена. Побуђивањем једног индукционог калема формирају се две варнице од којих једна иде на цилиндар који је у фази сабијања и где је потребно упалити гориву смешу, а други иде у цилиндар који је у фази издувавања где варница нема никаквог утицаја (слика 16).



Слика 16: Шема паљења код двоструког индукционог калема[3]

Овај систем се назива „системом неискоришћене варнице” (енгл. *Wasted Spark Ignition*). Због двоструког броја варница у односу на потребан број време рада свећице се битно смањује што је мана овог типа паљења.

Детаљнија шема система неискоришћене варнице дата је на слици 17.



Слика 17: Систем неискоришћене варнице[7]

Дакле, уместо постављања једног калема за напајање свих цилиндара, као код класичног електронског система паљења, овај систем користи више калемова под називом „пакети калема”, од којих сваки генерише варницу за само два цилиндра. Као резултат тога, сваки калем може имати дужи период рада и развити јаче магнетско поље - чак и од 30000 V, и јачу, топлију варницу која је потребна како би се запалиле нове смеше горива и ваздуха у новијим возилима.

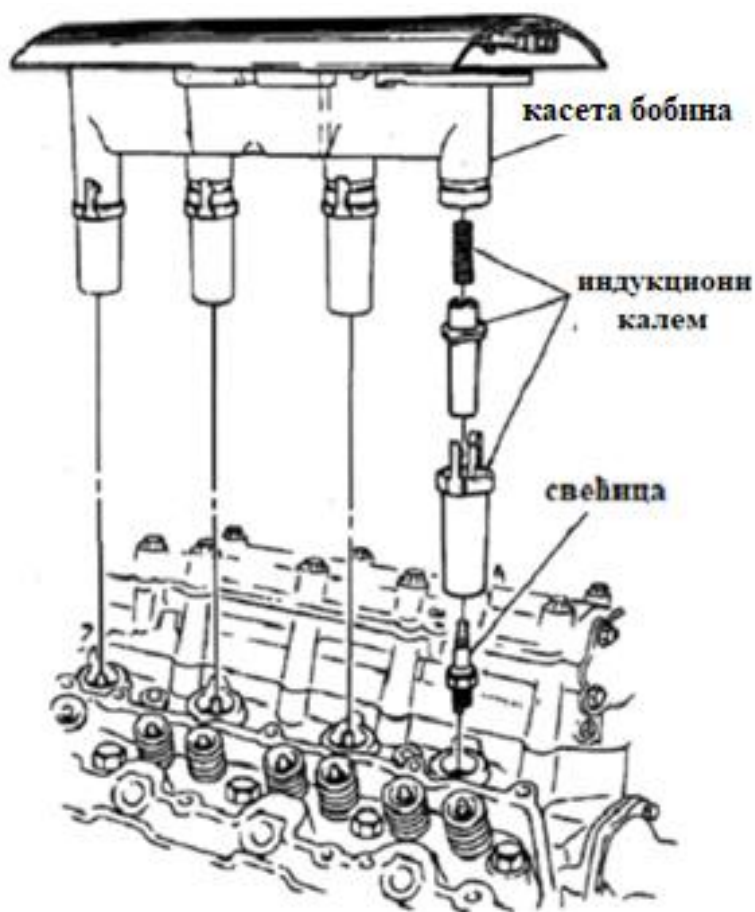
У систему за паљење смеше без разводника, ЕУЈ, модул паљења и бобине раде заједно контролишу варнице у цилиндрима. Разни сензори који се налазе у мотору шаљу информације о различитим показатељима рада мотора ЕУЈ. ЕУЈ затим обрађује информације и одређује идеалан тренутак појаве варнице за тренутне услове мотора. ЕУЈ саопштава модулу за паљење када да активира примарне намотаје у индукционом калему. У овом типу система, модул паљења заузима место разводника.

2.2 СИСТЕМ „ЈЕДНА БОБИНА – ЈЕДНА СВЕЋИЦА”

Систем за паљење са конструкијом „једна бобина – једна свећица” (енгл. *COP - Coil-On-Plug Ignition System*) такође представља модуларни систем паљења без разводника, и укључује све електронске контроле које се налазе у систему неискоришћене варнице, али уместо једног индукционог калема за два цилиндра, сваки калем *COP*-а служи само за један цилиндар и има двоструко више времена за стварање магнетног поља. Као резултат, неки *COP* системи генеришу чак 40000 до 50000 V и много топлије и јаче варнице.

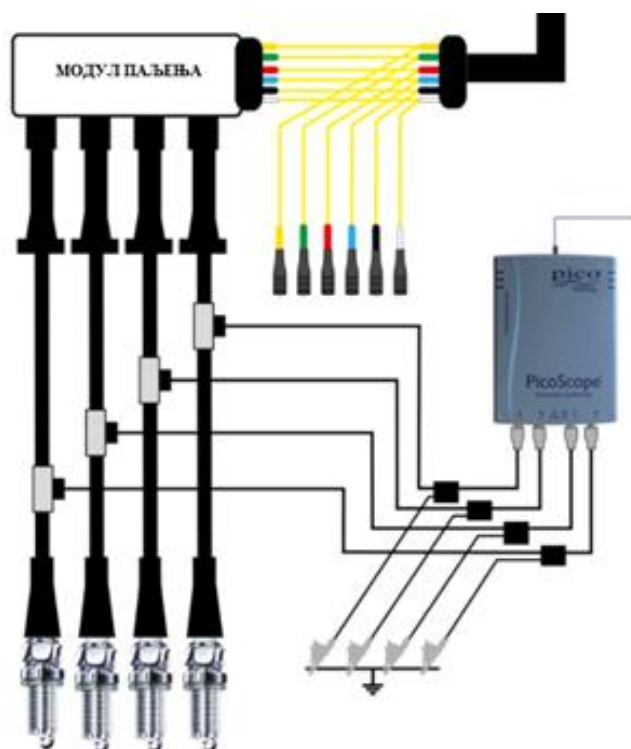
COP системи паљења имају још једну велику предност у односу на системе неискоришћене варнице. Пошто се индукциони калемови причвршћују директно на врх свећице, каблови свећице се елиминишу јер се напон паљења испоручује директно на свећицу. Прикључни каблови значе већу отпорност на амперажу и напон, као и могућност контаминације и унакрсног пуцања између каблова ако постану масни или истрошени. Индукциони калемови у *COP* систему за паљење могу се оштетити од стране одмашћивача и воде током чишћења мотора, па их свакако треба обавити пластиком и заштитити пре започињања чишћења испод поклопца мотора.

На слици 18 је приказан типични систем паљења без разводника са конструкијом „једна бобина – једна свећица”.



Слика 18: *COP* систем[6]

Слика 19 представља шему тзв. *COP* система паљења.



Слика 19: Шема *COP* система за паљење смеше[8]

Систем паљења без разводника се састоји из следећих делова:

1. електронска управљачка јединица (ЕУЈ),
2. модул паљења,
3. сензори положаја коленастог вратила и брегасте осовине,
4. индукциони калемови (бобине), и
5. свећице.

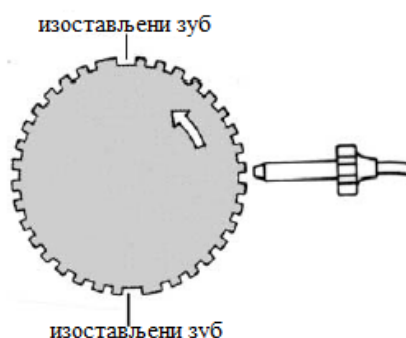
Системи паљења без разводника одређују тренутак прескакања варнице помоћу два сензора положаја вратила и рачунар. Сензор положаја коленастог вратила (енгл. *СКР* - *Crankshaft Position Sensor*) је монтиран на предњој страни коленастог вратила, или у близини замајца на неким возилима, а сензор положаја брегасте осовине (енгл. *СМР* - *Camshaft Position Sensor*) постављен је близу краја брегасте осовине. Ови сензори непрекидно прате положаје обе осовине и преносе те информације у рачунар.

2.2.1 Сензор положаја коленастог вратила

Да би систем за паљење смеше без разводника радио исправно, ЕУЈ морају знати тачну позицију коленастог вратила у сваком тренутку, тако да то може одредити када се би варнице требало да се појаве. Из тог разлога, се за праћење положаја коленастог вратила користи посебан сензор. Како се коленасто вратило окреће, сензор положаја коленастог вратила прати његову позицију и шаље сигнале о његовом положају ЕУЈ. ЕУЈ користи ове сигнале како би одредио када да запали смешу у различитим цилиндрима.

Сензор положаја коленастог вратила је обично монтиран у блоку мотора у близини самог вратила. Посебни назубљени диск на коленастом вратилу се затим користи за покретање сензора. Назубљени диск може бити саставни део коленастог вратила или се може причврстити на њега.

Тачан дизајн назубљеног диска варира у зависности од врсте мотора и модела. У свим случајевима, међутим, спољашња ивица назубљеног диска садржи неку врсту уреза или рупа које представљају позиције коленастог вратила. Један од типова назубљеног диска је приказан на слици 20.



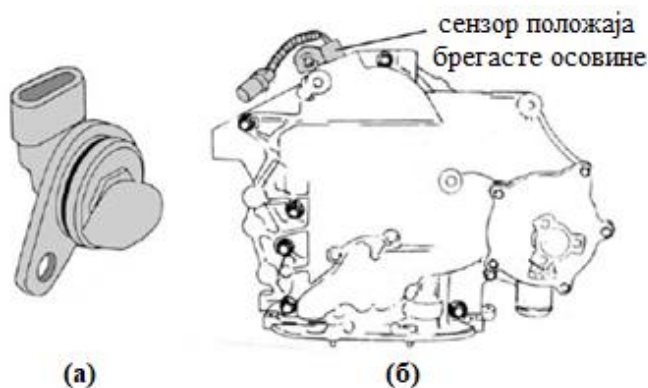
Слика 20: Назубљени диск и сензор положаја коленастог вратила[6]

Док коленасто ротира, урези на диску доводе до тога да сензор положаја коленастог шаље сигнал ЕУЈ. Овај сигнал се користи за идентификацију уреза тако да их рачунар може пратити. Једном када рачунар зна локацију једног уреза, може рачунати број сигнала из те тачке како би одредио тренутну позицију коленастог вратила.

2.2.2 Сензор положаја брегасте осовине

Неки системи, поред сензора положаја коленастог вратила користе додатни сензор који се назива сензор положаја брегасте осовине. Код оваквог система, сензор положаја брегасте осовине шаље сигнал ЕУЈ како би указао на то да је време да се смеша у одређеном цилиндру упали.

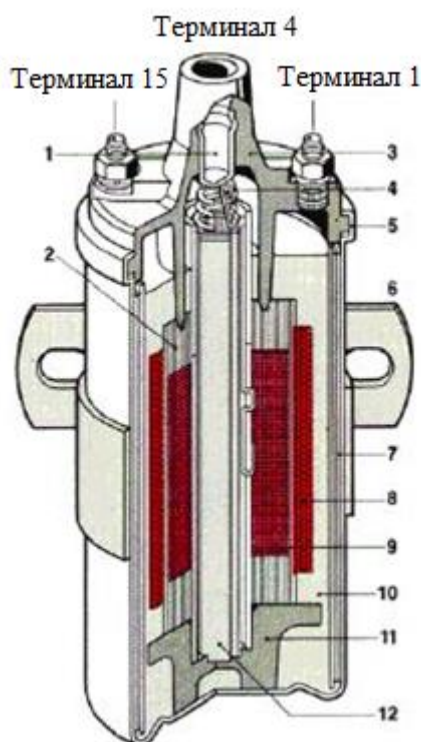
Типичан сензор положаја брегасте осовине је приказан на слици 21 под (а). У већини случајева, сензор положаја брегасте осовине постављен је на предњем поклопцу мотора, поред зупчаника брегасте осовине као што је приказано на слици 21 под (б). Назубљени диск је монтиран на зупчаник брегасте осовине. Принцип рада је сличан принципу рада сензора положаја коленастог вратила.



Слика 21: Типичан сензор положаја брегасте осовине (а) и место монтирања сензора положаја брегасте осовине (б)[6]

2.2.3 Индукциони калем

Индукциони калем (слика 22) је извршни орган у батеријским системима паљења чији је задатак да образује варницу на свећици која има улогу варничара. По својој конструкцији индукциони калем представља импулсни трансформатор, с тим што се изводи као уљни (смештен у кућишту испуњеном трансформаторским уљем) или као суви.



Слика 22: Индукциони калем[9]

1 - излазни прикључак, 2 – изолација, 3 - заштитни поклопац, 4 - контакт са опругом, 5 – кућиште, 6 – носач, 7 - магнетна оплата, 8 - примарни намотај, 9 - секундарни намотај, 10 - заптивна смеша, 11 – изолатор, 12 - језгро од гвожђа

Код батеријских система за паљење са сакупљањем енергије у индуктивности индукциони калем има задатак да акумулира енергију која треба да се претвори у високонапонску варницу на електродама свећице за паљење.

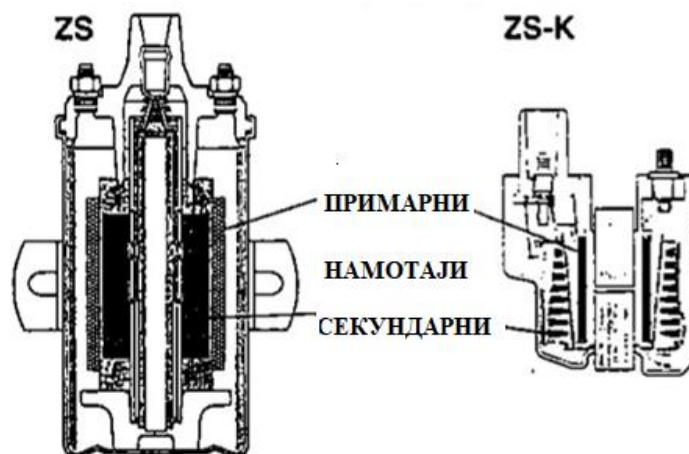
Код конвенционалних система за паљење примар индукционог калема се обично изводи са $N_1 = 250$ до 300 навојака бакарне жице пресека 0,7 до 0,8 mm², укупне отпорности обично у границама $R_1 = 1,6$ до 1,8 W, а секундар са око $N_2 = 20000$ до 25000 навојака жице пречника 0,07 до 0,1 mm, укупне отпорности $R_2 = 8000$ до 10000 W, при чему однос трансформације износи $n = N_2/N_1 = 80$ до 100. Индуктивност примара обично има вредност у границама $L_1 = 6$ до 10 mH.

Типичне електричне карактеристике индукционог калема, какав се користи у електронским системима батеријског паљења са сакупљањем енергије у индуктивности, су:

- у примару: $R_1 = 0,72 \text{ W}$; $L_1 = 3,7 \text{ mH}$
- у секундару: $R_2 = 7,7 \text{ kW}$; $L_2 = 29 \text{ H}$

Класичан индукциони калем у склопу са разводником паљења се све мање користи а замењује га електронски потпуно контролисано паљење где се на основу положаја коленастог вратила који се мери помоћу одговарајућих давача одређује тренутак формирања варнице.

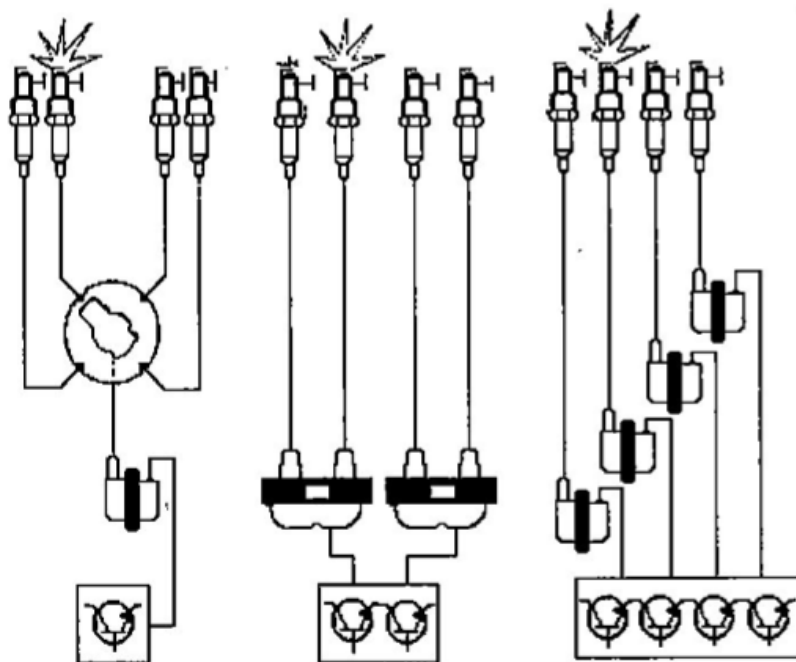
Поређење класичне (ZS по *Bosch* ознаци) са секундаром унутар и модерне варијанте (ZS-K) бобине са секундаром споља је приказано на слици 23.



Слика 23: Бобине ZS и ZS-K[2]

Разлике нису само у димензијама, у тежини (модерна је два пута лакша) већ и по електричном учинку у корист актуелне ZS-K.

Прелазак са једне на више бобина и модуларне системе паљења илуструје слика 24. Са леве стране имамо класични систем са једном бобином за четири цилиндра. У средини су бобине са два излаза, тј. једна бобина за по два цилиндра и са десне стране је модуларни систем са једном бобином по сваком цилиндру.



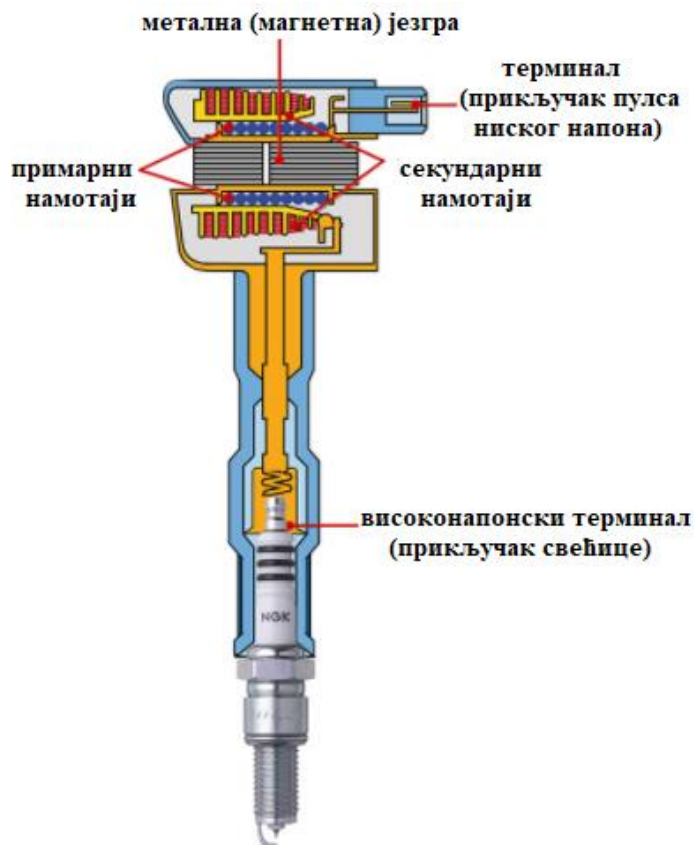
Слика 24: Развод високог напона[2]

Разводник високог паљења је код савремених система високонапонски електронски разводник без покретних делова израђен изједна са бобином.

Да би се спречила појава непотребне варнице за сваки индукциони калем у високонапонско коло стављају се високонапонске диоде од којих једна може да пропушта само позитивне а друга само негативне високонапонске импулсе. Посебном изведбом излазог степена производе се високонапонски импулси различитог поларитета који су тако синхронизовани да стварају варницу само у цилиндру у фази сабијања.

Индукциони калемови могу бити распоређене на неколико начина. У случају конструкције „једна бобина – једна свећица”, најчешће су постављени сваки уз своју свећицу (врло близу или директно повезани са свећицом). Но, уобичајеније се налазе у комплетима који се у случају квара поједине бобине мењају цели или је, зависно од конструкције, могуће заменити сваку појединачну бобину.

Типичан индукциони калем модерног система паљења је приказан на слици 25.



Слика 25: Пресек бобине DIS система („оловка” бобина)[10]

Свакако, потребно је напоменути и да у данашњем, електронском свету нема више механичког погона разводника паљења, вакумског компензатора и сличног. Целу причу око паљења тако надзире ЕУЈ која прима информације од разних сензора, попут сензора положаја коленастог вратила, брзине рада (броја обртаја) мотора и сл.



Слика 26: Електронска надзорна јединица система паљења (лево) и бобина са припадајућим конектором (десно)[10]

2.2.4 Модул паљења

Приликом паљења, ЕУЈ саопштава модулу за паљење (слика 27) када да активира примарне намотаје у индукционом калему. У овом типу система, модул паљења заузима место разводника.



Слика 27: Модул паљења произвођача Bosch[11]

Предности употребе модула за паљење су јасно видљиве:

- нема механичког хабања,
- нема проблема са контактом при повећаној влажности, и
- прецизнија је контрола тачака паљења.

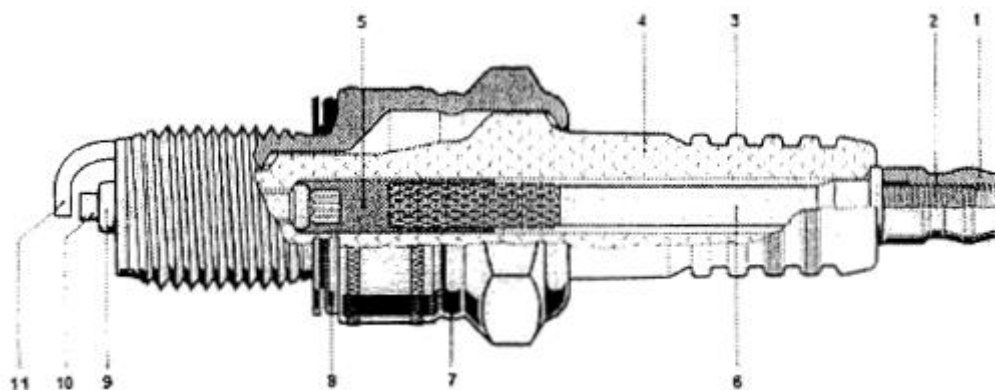
Штавише, већина модула за паљење имају аутоматско ограничење струје како би се спречило преоптерећење индукционог калема, што би резултирало непоправљивом штетом. Када се користи модул за паљење, тренутак у коме се врши пребацивање, наравно, одређују и процеси у мотору, или тачније положај клипова унутар цилиндара. За ову сврху модул за паљење захтева контролни сигнал, кога испоручује сензор.

Модул паљења може бити самосталан, може се налазити у ЕУЈ, или може бити израђен изједна са сваким индукционим калемом.

Паљење је један од значајних фактора који утичу на вредности издувних гасова возила. Неконтролисано паљење, детонантно сагоревање или недовољна енергија паљења имају битну улогу овде. Стога је и модул за паљење који је у савршеном радном стању погодан за заштиту околине.

2.2.5 Свећица

Типична конструкција свећице за паљење смеше, код аутомобилских мотора, је приказана на слици 28.



Слика 28: Приказ конструкције свећице[12]

- 1 - ел. прикључак, 2 - навој, 3 - оребрење, 4 - изолатор, 5 - топлива маса, 6 - централна електрода, 7 - кућиште, 8 - метална заптивка, 9 - изолатор врха електроде, 10 - врх централне електроде, 11 - бочна електрода

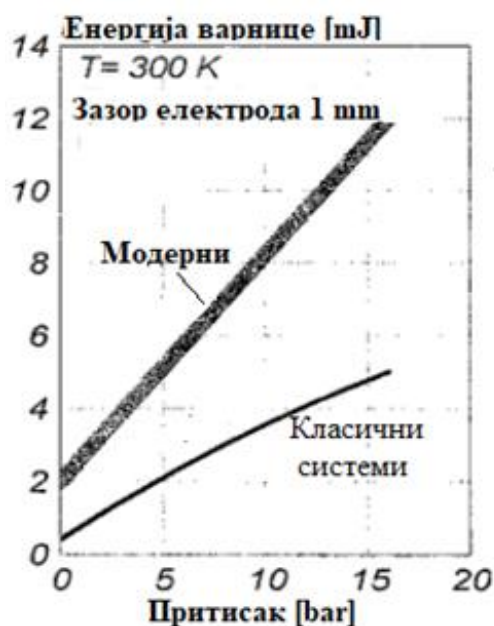
Свећица се састоји од металне главне електроде која је у керамичком изолатору велике изолацијске вредности; а доњи део изолатора обухвата метално кућиште свећице с навојем, којим се врши учвршћивање свећице у главу мотора. На нози свећице је заварена друга, спољашња електрода, која је преко главе мотора у електричном споју са масом (негативним полом) возила. Удаљеност спољне електроде од главне (размак електрода) је увек тачно одређен.

Да би мотор могао да постигне одговарајућу снагу варница мора бити довољно јака како би поуздано могла да се запали смеша горива и ваздуха. Зато размак између електрода мора бити релативно велик. Међутим, већи размак значи и већи напон паљења. Свећице аутомобила обично имају размак електрода 0,4 до 1,2 mm. Размак треба повремено прегледати и по потреби подешавати, јер се електроде с временом троше. Понекад се између електрода накупе остаци сагоревања који премосте размак између електрода, и у том случају долази до великог ослабљења или изостанка варнице.

Неправилан размак између електрода није једини узрок слабог или нередовног паљења. Огреботина или напуклина на изолатору или талог од уља, воде или чађа на његовој површини могу такође бити узрок губљења напона и слабе варнице.

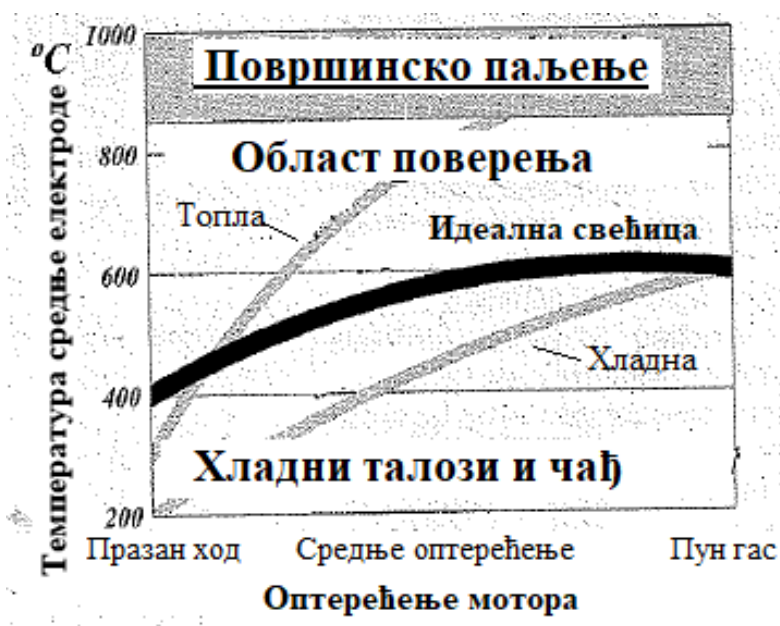
Електрично оптерећење варнице се исказује кроз висок напон пражњења и ерозију електрода. Ерозија повећава зазор између електрода, а талози и наслаге умањују напоне, што временом прелази у изостајање паљења и отказ свећица. Потребан напон за варничење на свећици зависи од низа фактора: система паљења, броја цилиндара, броја обртаја мотора, степена компресије, састава смеше, зазора између електрода, материјала и температуре електрода, поларитета високог напона и тд.

На слици 29 је приказана зависност енергије варнице коју даје класични систем и колико се тражи од модерних система за сиромашну смешу и високе степене компресије.



Слика 29: Енергија варнице[2]

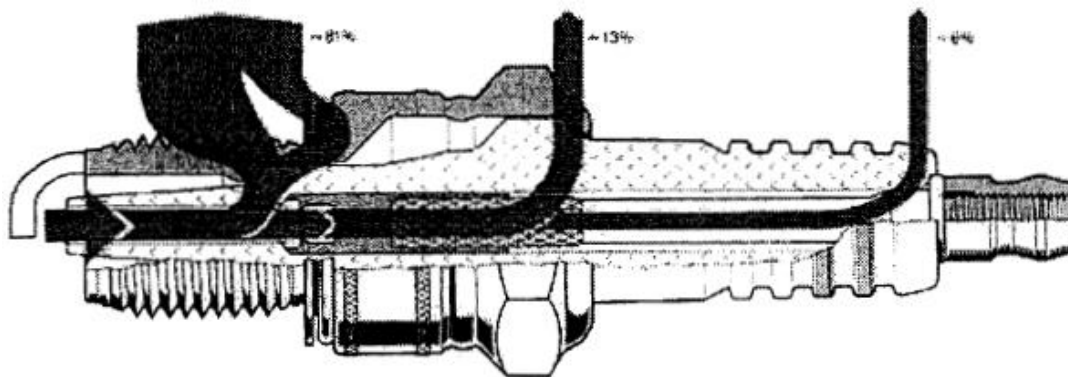
Температура делова свећица не сме бити ван граница самочишћења од 400 до 600 °C, слика 30.



Слика 30: Топлотне вредности свећица[2]

Свећица која би стално била у граници самочишћења могла би се звати „**идеалном**”. Уколико је температура виша постоји опасност од површинског паљења, ако је нижа на деловима свећице остају талози који негативно утичу на њене електричне, хемијске и механичке особине. Термичко оптерећење се креће од ниских околних температура при стајању мотора, преко температуре смеше током компресије до максималних температура од 2500 °С. Краткотрајни радни процеси узрокују брзе промене температура. Неравномерна термичка оптерећења делова свећице производе допунска механичка оптерећења. Услед различитих ширења спрегнути делови су у стању механичке пренапрегнутости.

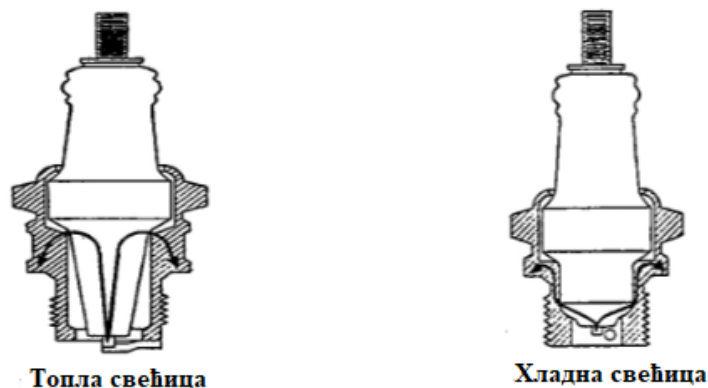
У току такта сагоревања, високе температуре у цилиндру се постижу за кратко време и ове температуре доводе до загревање свећица. Свећице ослобађају око 80% ове апсорбоване топлоте окружењу, различитим методама кондукције (слика 31). Огромна већина топлоте се преноси са навоја свећице директно на главу цилиндра. Због тога свећица мора увек бити исправно причвршћена. Само око 20% топлоте се апсорбује и ослобађа мешавином горива и ваздуха.



Слика 31: Шема преноса топлоте код свећице[12]

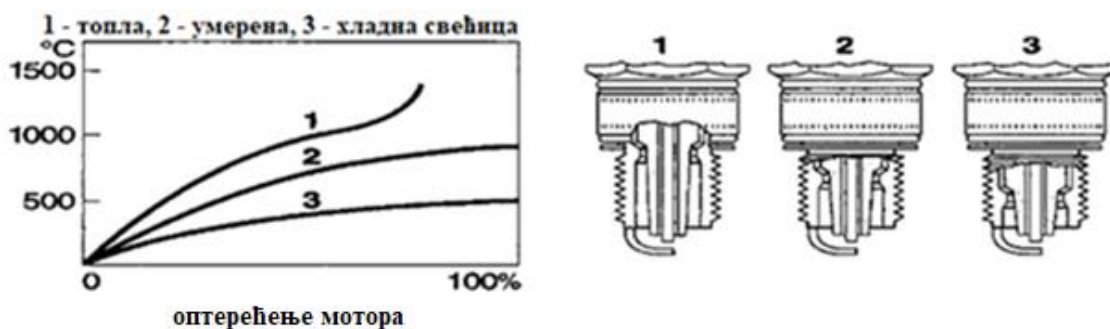
- преко навојног прикључка према цил. глави – кондукција 81%
- преко тела – конвекција 13%
- преко изолатора – конвекција 6%

Ако је свећица тако конструктивно изведена да се топлота краћим и бржим путем одводи са електрода и изолатора онда је то **хладна свећица**. Када се пут топлотног флукса продужава па се спорије одводи топлота у питању је **топла свећица**. Хладне свећице су погодне јако оптерећеним моторима подешеним за максималну снагу. Такви мотори развијају велике количине топлоте по циклусу па се топлота интензивно одводи.



Слика 32: Топла и хладна свећица[2]

Количина топлоте која се ослобађа у комори за сагоревање зависи од степена компресије, развијене снаге и броја обртаја мотора, слика 33. За разне моторе, и чак исти мотор, у различитим режимима рада постоји променљиво топлотно оптерећење свећице. У једном треутку потребно је одвести већу, а у следећем мању количину топлоте са њених делова. Код нефорсираних и истрошених мотора морају се користити топлије свећице. Двотактни мотори постављају строже захтеве према свећицама од четворотактних због двоструко више циклуса и присуства уља у бензину.



Слика 33: Температуре у функцији оптерећења мотора[2]

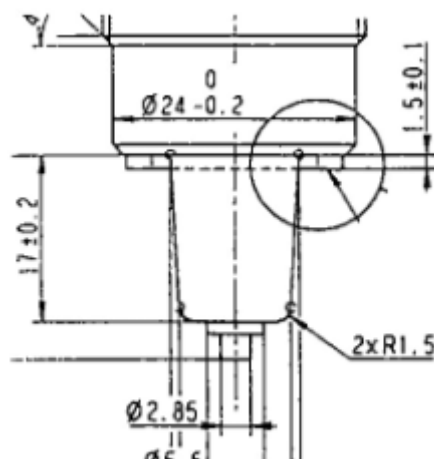
Пошто је тешко истовремено испунити све захтеве који се постављају, добре топлотне проводљивости и постојаности на термичка, хемијска и електрична оптерећења, средња електрода се изводи по сложенем поступку. Изолатор је од керамичког материјала, који је добијен по специјалној рецептури. Избор материјала за бочну электроду је нешто лакш. Механичка оптерећења су ударне природе, услед радног процеса и вибрација мотора. Поред тога свећица мора гарантовати заптивеност коморе.

Од бројних новина посебно је интересантан систем фирме SAAB (у саставу GM) под називом SPI (енгл. *Spark Plug Injector*) – свећица и бризгач у једном агрегату, слика 34.

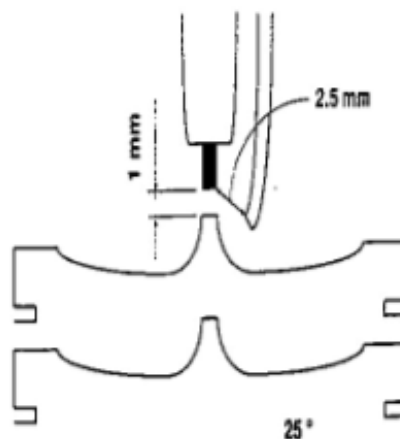


Слика 34: SPI - Свећица и брызгач[2]

Прва варијанта из 1995. године је имала свећицу са једном средњом електродом, слике 35 и 36, а веза са асом је остваривана са пупком на клипу.



Слика 35: Свећица SAAB[2]

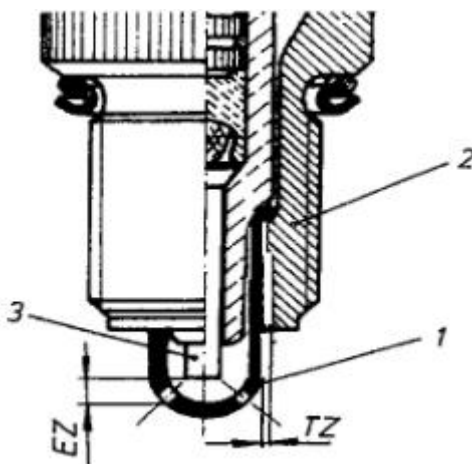


Слика 36: Комора SAAB[2]

На делимичном оптерећењу треба упалити смешу са високим процентом издувних гасова у цилиндру. Зазор електрода је тада 3,5 mm, а енергија варнице 80 mJ. Пажње се тада обавља према бочној електроди. На пуном оптерећењу клип са пупком, слика 36, се примиче средњој електроди па он преузима улогу друге електроде и тада је електрични зазор мањи (1 mm).

После тога је матична фирма GM откупила више решења и са „Delphi” и „Orbital” развојним службама оформила поменути SPI. Када се такав агрегат примени на SAAB мотору са променљивим степеном компресије (енгл. SVC – *Saab Variable Compression*) добије се нови SCC (енгл. *Saab Combustion Control*) – мотор са контролом сагоревања.

Други тип свећице је са терморегулацијом, слика 37. Спољна електрода (1) је израђена од каталитичке мрежице. Како се свећица загрева тако се мењају термички (између 1 и 2) и електрични (између 1 и 3) зазори, и штите средњу электроду (3) од премошћавања и талога.



Слика 37: Терморегулациона свећица[2]

Зазор између електрода свећица се прописује од стране произвођача возила, али је све чешћа заступљеност свећица са фиксираним зазором чије се подешавање врши фабрички.

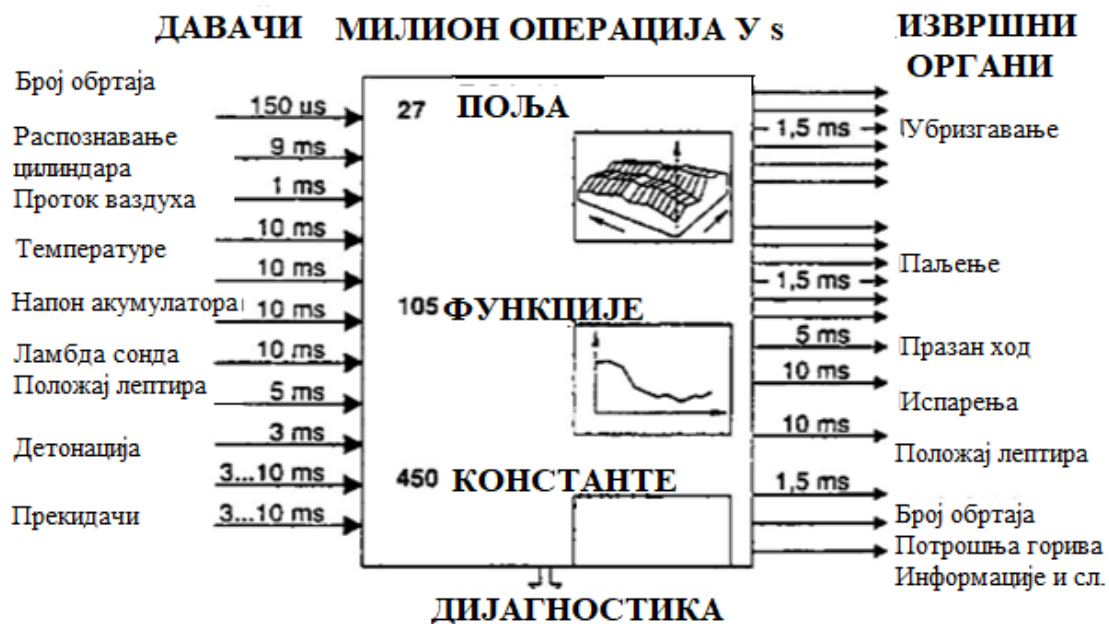
Савремене свећице произвођача Bosch (слика 38) су изузетно отпорне на хабање и хемијске утицаје у комори за сагоревање захваљујући централној електроди са платинско-иридијумском легуром. Пружају оптимална својства паљења и дуг век трајања, побољшану ефикасност, као и високу отпорност на ерозију материјала. Пречник централне електроде је свега 0,6 mm, а дисперзија пламена је савршена са свих страна.



Слика 38: Платинумска свећица произвођача Bosch[13]

2.2.6 Дигитални систем управљања

Основни елементи дигиталног система управљања бројним функцијама мотора и возила дати су на слици 39.



Слика 39: ЕУЈ возила за управљање функцијама мотора (ниво „Bosch M3”)[2]

Електронска управљачка јединица се састоји од великог броја интегралних кола, транзистора, диода, кондензатора и електронских компонената осетљивих на потресе,

температуре и влажност. ЕУЈ се брзо одазива на промене режима рада и саопштава нови импулс генератору високог напона. Сама ЕУЈ је врло сложена, а у принципу се састоји од четири веће целине:

- А/D (аналогно/дигиталног) конвертора,
- меморије,
- микропроцесора, и
- излазног степена.

Из тог разлога њоме треба опрезно руковати. При уградњи, а посебно при оправци возила треба водити рачуна да ЕУЈ буде удаљена од мотора и других елемената који имају високу температуру. Битно је да не буде изложена јаком електричном зрачењу због опасности од интерференције и вируса. На самој ЕУЈ не могу се вршити никакве оправке. Електронско генерисање оптималног угла паљења је на бази информација од више сензора. Алгоритам ради зависно од режима рада мотора – претварајући сигнале на излазу у вредност угла паљења. У случају било какве унутрашње грешке ЕУЈ прелази на унапред задате програме паљења. Ако се изгуби сигнал о оптерећењу мотора ЕУЈ узима само податак о броју обртаја мотора. Ако откаже давач детонације онда постоји програм за рад на почетном углу паљења (нпр. 10°) при коме код стандардног мотора нема детонације и слично. ЕУЈ се напаја са 12 V. То је високо за унутрашња кола па се напон посебно стабилизује на радних 5 V.

А/D конвертор прима сигнале од сензора и даје им дигиталну, нумеричку форму. Давач броја обртаја генерише импулсе променљиве учестаности у μs , обележивач цилиндара у ms , и сл.

Давач температуре на излазу има сталан аналогни напон променљивог интензитета зависно од места где се налази: вода, ваздух, издувни гасови и сл. Потенциометар командног лептира (електронске педале за гас) даје сигнал о положају и тд. Све сигнале конвертор А/D претвара у стандардне дигиталне форме са којима меморија и чип врше даља израчунавања.

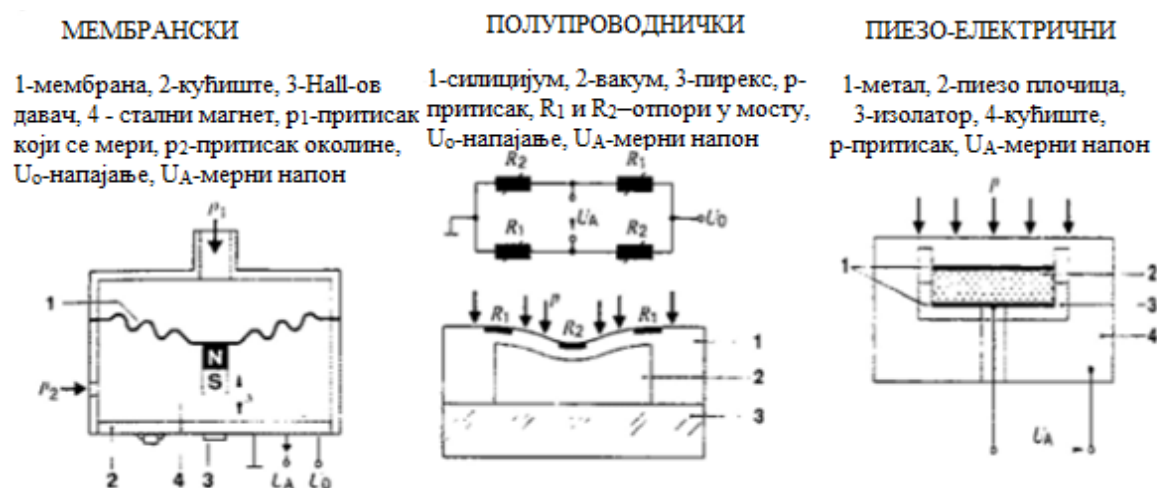
Меморија памти програме и претпрограме. У њима су садржана сва раније сазнања. За сваку улазну вредност постоји алгоритам по коме се великом брзином врши формирање информација за чип.

Микропроцесор на основу дигиталне форме улазног система бира програме из меморије који су предодређени за такве радне режиме мотора (за више хиљада радних тачака мотора).

Излазни степен прерађене информације из микропроцесора, који су улаз у ову јединицу, претвара у импулсе паљења у генератору високог напона, команде за брызгаче и све остале извршне органе, показиваче, дијагностику и остало.

Модул снаге има улогу електронског прекидача у колу примара бобине. То је задатак који код класичних система имају платине. ЕУЈ садржи унапред исписане алгоритме на бази којих се врши обрада сигнала из давача. Улога ЕУЈ је да произведе управљачке импулсе на основу којих се активира секундарно коло паљења. Модул снаге контролише примарно коло бобине, а разводник високог напона успоставља везу са свећицом и у датом моменту изазива варницу на електродама свећице. Модул снаге је термички оптерећен и потребно је његово хлађење.

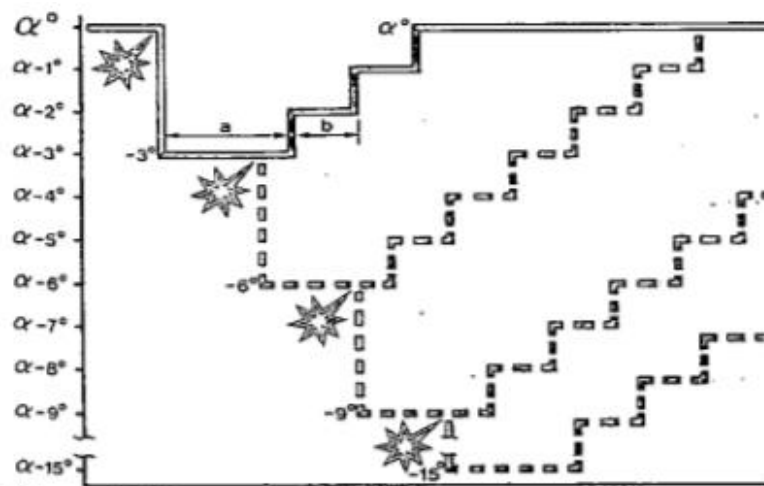
За оптерећење мотора, прве варијанте система без мерача протока ваздуха, узимају сигнал из усисне цеви иза лептира, слика 40. На ниском оптерећењу лептир је делимично отворен па је депресија висока (око 60 kPa). Са порастом оптерећења (отварањем лептира) депресија опада. Депресија се претвара у електрични сигнал у полупроводничком елементу. Промена напона се упоређује са сигналом из давача броја и претвара у угао паљења. То је поступак код брзих интервенција, спортских и брзих решења. За серијску примену системи на усису мерач постоји протока ваздуха и потенциометар за положај лептира па су информације о режимима рада веродостојније.



Слика 40: Принципи мерења притиска – давачи[2]

Давач детонације представља највећи допринос у очувању мотора од хаварије, у прилагођавању разним квалитетима горива и у поузданости дијагностике. Детонација је вид ненормалног сагоревања које се чујно осети као вишеструк удар по цилиндрима, глави и свим деловима мотора. Зато давач вибрација служи као индикатор детонације. Давач реагује на наглу и вишеструку појаву притиска. На основу тога се у контролној јединици формира реперни сигнал. Ако гориво нема одговарајући квалитет онда се пали независно од варнице и онда нагло-ударно сагори. Када је мотор стар или прегрејан онда се део смеше упали пре варнице. Резултат је опет ударно, вибрационо сагоревање.

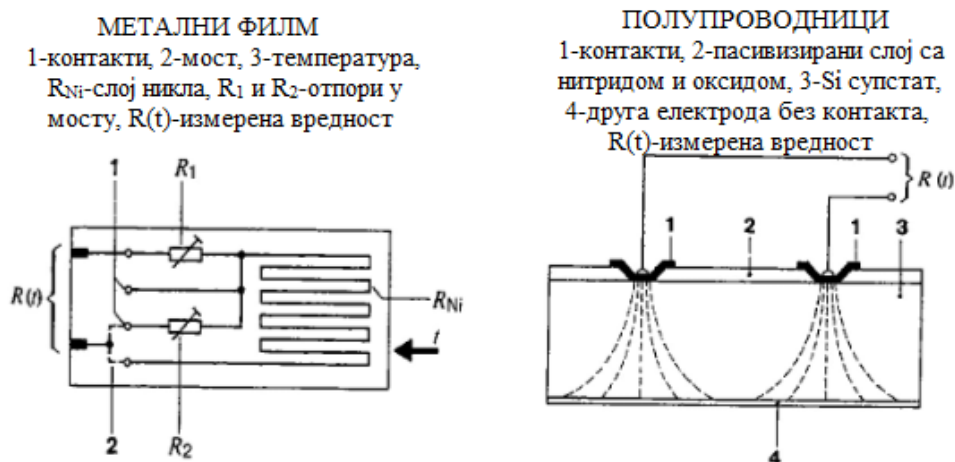
Детонација је изузетно опасан феномен па се у циљу заштите мотора уводи више заштитних мера. На првом месту је смањење угла паљења, а онда брзо обогаћење смеше. Код данашњих комора за сагоревање побуда је углавном око 7,5 kHz. ЕУЈ има контролни прозор у коме региструје вибрације (типични опсег је од 15° пре СМТ до 55° после СМТ). Угао паљења се рачуна у односу на почетни, запамћени угао. После интервала од три импулса са детонацијом (код четвороцилиндричних мотора) ЕУЈ повлачи угао паљења на мању вредност за 3 °KB, слика 41. Укупно трајање мањег угла паљења (вредност варира од 2° до 3°) је обележено са „а”. Та вредност зависи од типа мотора, коморе за сагоревање, система мотора и сл., а креће се око 10 s. Уколико се детонација понови угао опада све док се детонација не изгуби (до 15 °KB). Чим престане детонација мотор степенасто („b”=0.1° - 1°) повећава угао паљења. У нормалном раду систем стално скенира, тако да мотор ради врло близу границе детонације. Код интензивне детонације, на знак из давача детонације, ЕУЈ опомиње систем најапања горивом да повећа убризгану количину и обогати смешу чиме се додатно смањује интензитет детонације.



Слика 41: Рад на граници детонације[2]

Потенциометар за положај лептира обавља бројне информационе улоге. На празном ходу рачунар бира радне параметре за услове највећег комфора возила (угао паљења између 10° и 16° пре СМТ – код класичних мотора, састав смеше за СО око 1%, број обртаја око 800 без и око 1000 o/min са климом и/или аутоматском трансмисијом).

Давачи температуре, слика 42, служе за дефинисање термичких стања мотора преко температура блока и цилиндара мотора, издувних гасова и течности за хлађење. На основу тих података ЕУЈ формира сигнал за моменат паљења (и количину горива, тј. састав смеше). На угао паљења температура мотора има различит утицај. Хладан мотор се брже загрева у случају већег угла. Исто тако, код хладног мотора, мањи угао је повољнији за брзо излажење на режим катализатора и климе. Зависно од возила јављају се и једне и друге регулације. Сигнал са давача температуре се користи за блокирање давача детонације. Током режима загревања мотора јављају се механичке вибрације које би могле навести давач детонације да сигнализира детонацију. Зато се до неке температуре давач детонације блокира. Тиме је сагоревање потпуније па су температуре издувних гасова и целог система за хлађење ниже, а механички губици и потрошња горива мањи. Данас је уобичајено да у давачу постоје два отпорника, додатни је за систем паљења, а посебан извод сигнала је за дијагностичке потребе.



Слика 42: Принципи мерења температуре – давачи[2]

Детектор првог цилиндра служи као почетак координатног система за управљање мотором. Када се поставља више давача детонације онда је тешко открити који цилиндар детонира. Зато се поставља индуктивни детектор на кабл до првог цилиндра. Када прође напон паљења онда се у намотајима индукује сигнал по коме ЕУЈ програмира ред паљења и реагује на појаву детонације у сваком цилиндру.

Компензација празног хода је обавезна код возила са климатизацијом, аутоматском трансмисијом или било којом овом опцијом зато што се на празном ходу троши већа снага. То се компензује или у систему напајања (већом количином горива) или повећањем угла паљења. Компензационе функције интервенишу само ако су температуре мотора изнад 70 - 80 °C јер иначе постоји опасност од прегревања мотора.

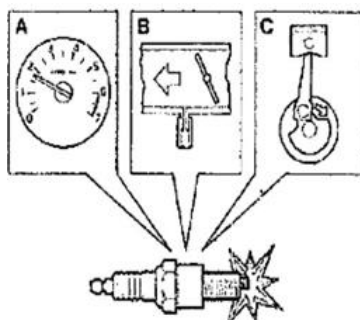
3. АНАЛИЗА УТИЦАЈА СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА НА ШТЕТНЕ ЕМИСИЈЕ ИЗДУВНИХ ГАСОВА, ПОТРОШЊЕ ГОРИВА И БУКЕ

3.1 Тренутак паљења

Тренутком паљења се управља споља. Мотори који се најчешће срећу (радне запремина 900 до 1300 m³) имају почетне углове претпаљења од 5 до 10 °KV који се подешавају на празном ходу са искљученим аутоматима (нпр. пнеуматским регулатором претпаљења). Са променом броја обртаја и оптерећења ступају у дејство регулатори угла претпаљења (А – у функцији броја обртаја, В – у функцији оптерећења, С – зависно од типа коморе за сагоревање, радних и термичких стања и пуно других утицаја), слика 43.

По коме ће закону ти аутомати одређивати моменат паљења зависи од циља:

- максимална снага (идентичност у једном цилиндру и између цилиндара),
- минимална потрошња горива, и
- најмања емисија издувних гасова и буке.



Слика 43: Утицаји на угао претпаљења[2]

При подешавању мотора за услове ниске токсичности и бучности према термичким стањима и условима околине класични једноставни регулатори су немоћни.

Када се посматрају фактори који утичу на паљење и сагоревање види се да положај свећице, степен компресије и степен турбуленције зависе од конструкције цилиндра, а трајање варнице и тренутак паљења зависе од система за паљење.

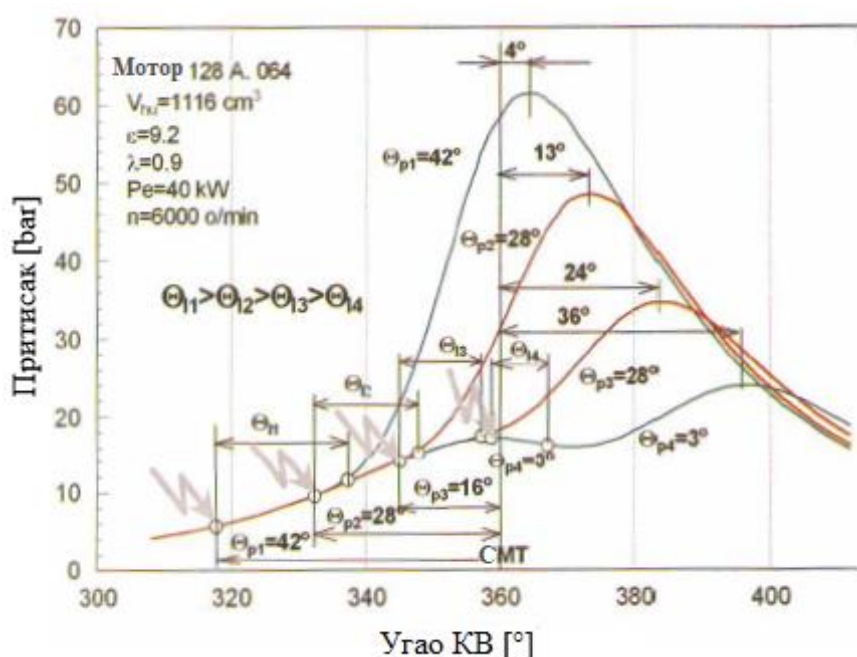
3.2 Угао претпаљења

Време потребно за нормално сагоревање у цилиндру је око 2 ms и оно у малој мери зависи од броја обртаја мотора. Да би се обезбедило време потребно за сагоревање потребно је да варница буде толико времена пре СМТ. Код нормалног сагоревања фронт пламена се креће кроз комору за сагоревање са равномерним порастом брзине пламена, температуре и притиска. Клип прима силу гасова и предаје је преко клипаче и коленастог вратила као обртни моменат потрошачу – возилу. Овде се наглашавају равномерност пораста притиска и температуре, умерена бучност и уобичајен састав издувних гасова.

При различитим бројевима обртаја мотора за потребно време сагоревања коленасто вратило направи различити угаони померај. Како тај угаони померај одговара моменту када треба упалити гориву смешу пре СМТ, онда се тај угао назива угао претпаљења.

Угао претпаљења дефинише услове у којима започиње и у којима се одвија прва фаза сагоревања. Сувише рано паљење, због ниских температура и притисака у цилиндру у моменту појаве варнице, доводи до продужења трајања прве фазе сагоревања. Раније претпаљење вуче и издиже максимални притисак према СМТ. Исто се догађа са максималном температуром на крају сагоревања, слика 44. Високе температуре и термичко преоптерећење делова прети хаваријом.

Пажљив возач може осетити и рану појаву детонације – кликтања, тврдог рада, „сипљивости” – једног вида ненормалног сагоревања. Ако је детонација слаба и ако се ретко појављује само у једном цилиндру онда није опасна. Како су савремена возила акустички све савршенија благовремено откривање детонације је изузетно тешко.



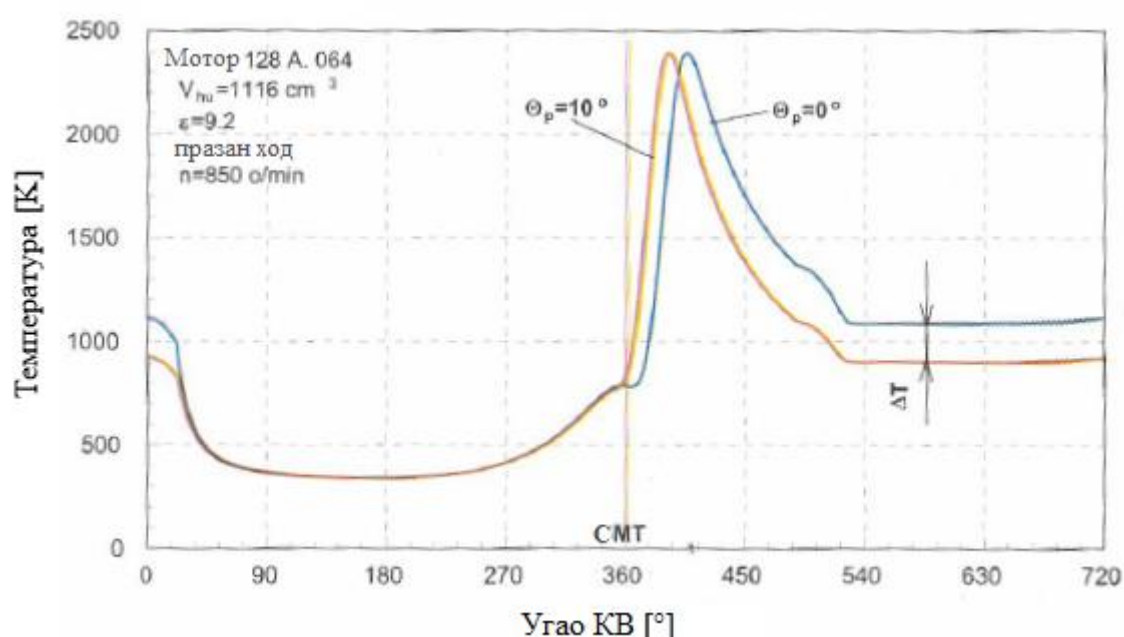
Слика 44: Индикаторски дијаграми за различите углове претпаљења[2]

Поменути услови су погодни за стварање азотних оксида (NO_x) и појаве ненормалног сагоревања. Део смеше горива и ваздуха који гори при достизању СМТ, или пре, заслужан је за емисију NO_x , с обзиром на то да запаљени гасови остају на високим температурама у дужем временском периоду. Два главна азотна оксида емитована од мотора са сагоревањем су азот-моноксид (NO) и азот-диоксид (NO_2). Већина NO_x из мотора са сагоревањем (90%) јесте NO . Овај гас се формира од азота и слободног кисеоника на високим температурама. Стопа формирања је функција расположивости кисеоника, и експоненцијално зависи од температуре. Већина емисија NO_x формира се рано у процесу сагоревања, када је клип близу СМТ и када су температуре највише. Емисије NO_x се контролишу смањивањем температуре пламена (одлагањем тренутка паљења) и минимизацијом времена излагања запаљених гасова високим температурама.

Превелико одлагање може повећати емисију CO , смањити излазну снагу и повећати потрошњу горива.

Сувише рано претпаљење следи тврд процес сагоревања, пад снаге и раст потрошње горива. Угао претпаљења је иначе индикатор регуларности сагоревања. Ако са његовим повећањем расте интензитет карактеристичне буке (учестаности од 6 до 8 kHz) онда процес сагоревања прелази у детонацију.

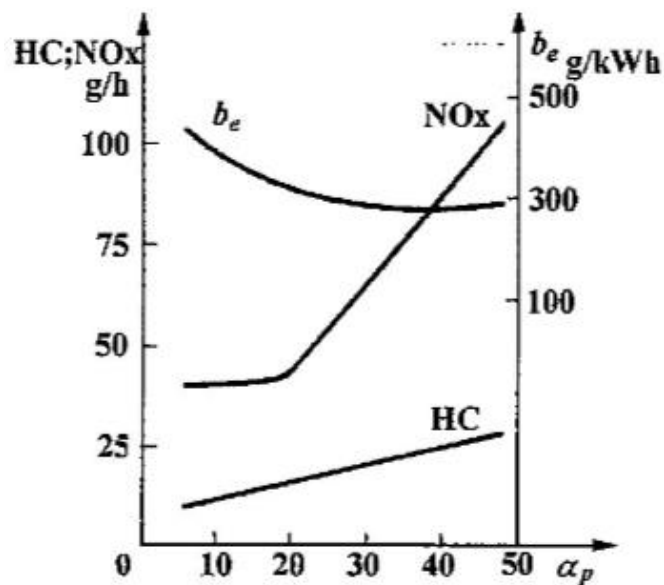
Сувише касно претпаљење, у близини СМТ, или иза ње, због виших температура и притисака даје краћу фазу првог периода сагоревања. Међутим, због касног почетка друге фазе, сагоревање се развлачи и прелази на линију ширења. Опет снага опада, а потрошња расте. Показатељи мотора су погоршани али нема опасности од појава ненормалног сагоревања. Горива ниске октанске вредности траже мање углове претпаљења. Делови се прегревају, а неки могу изгорети: вентили, глава, лонац или катализатор. Ради бржег загревања казализатора и његовог излажења на радни режим често се користи смањење угла претпаљења. Тада се добијају више температуре гасова у току ширења и издувавања, слика 45.



Слика 45: Индикаторски дијаграм мотора на празном ходу за два угла претпаљења[2]

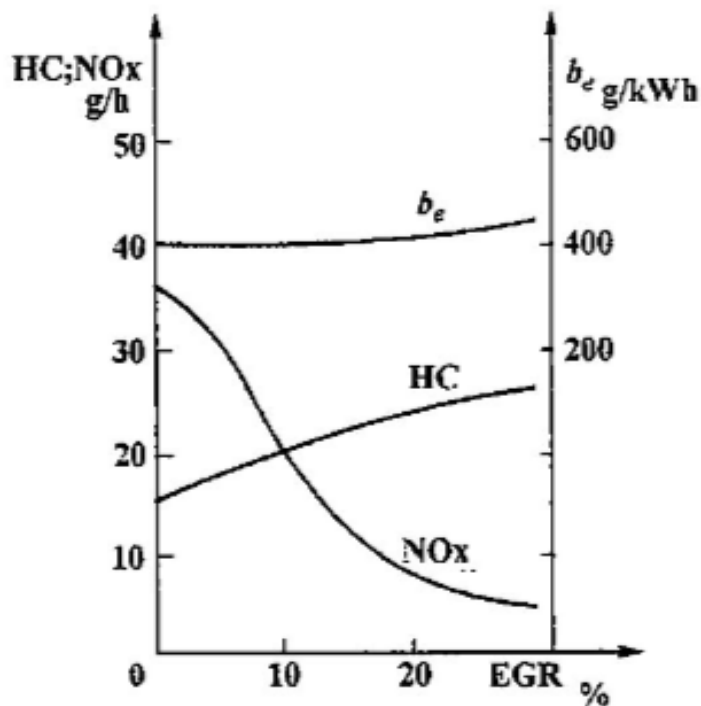
На бази искустава и теоријских анализа утврђено је да мотори имају највеће снаге и најмање потрошње горива када се максимални притисци налазе $12 \div 15^\circ$ после СМТ. Пошто се са променом радних режима и регулационих параметара мотора мењају сва стања у цилиндрима, неопходно је мењати и угао претпаљења у циљу остваривања жељених перформанси.

На слици 46 приказани су дијаграми зависности специфичне потрошње b_e и емисија HC и NO_x од вредности угла претпаљења α_p .



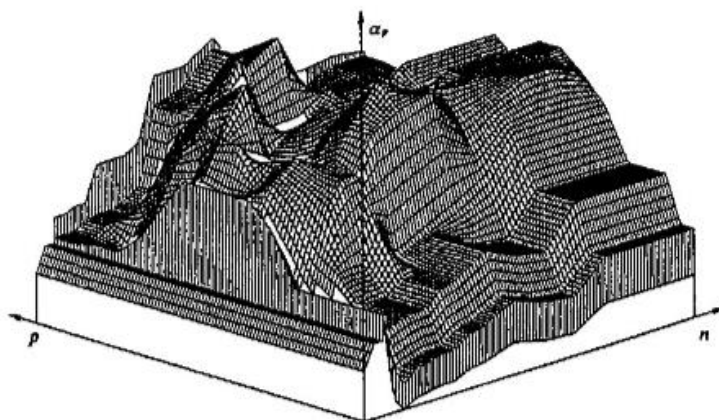
Слика 46: Илустративни приказ зависности специфичне потрошње b_e и емисија HC и NO_x од угла претпаљења α_p [14]

На слици 47 приказани су дијаграми зависности специфичне потрошње b_e и емисија HC и NO_x од вредности рецикулације издувних гасова EGR (енгл. Exhaust Gas Recirculation).



Слика 47: Илустративни приказ зависности специфичне потрошње b_e и емисија HC и NO_x од рецикулације издувних гасова EGR[14]

Поред приказаних и њима сличних за приказивање више функционалних зависности користе се и двопараметарске карактеристике (мапе) мотора, као што је зависност оптималног угла претпаљења од потпритиска p у усисном колектору (оптерећења) и броја обртаја коленастог вратила n , $\alpha_p = f(p, n)$, приказана на слици 48.



Слика 48: Пример мапе зависности угла претпаљења од вредности потпритиска и броја обртаја[14]

3.3 Подешавање угла паљења према квалитету горива

Захваљујући дигиталном систему контроле паљења у „Опелу” су смањили толеранцијско поље одступања угла паљења што, за исто гориво, омогућава већу номиналну вредност паљења, односно 10% већи обртни момент у поређењу са класичним системом паљења. Од обичног власника возила тешко је тражити познавање технологије производње и означавања бензина. Зато фирме морају предвидети неспоразуме при куповини горива. На пример, „Опел” за све своје моторе уводи две категорије горива. Са бензином 95 са класичним системом паљења угао је 4° , први трагови детонације су на 8° , а чујна детонација на 10° . Давач детонације и „научена” регулација дозвољава држање угла паљења 6° или за 10% већи обртни момент од класичног система уз истовремено економичнији рад мотора. За бензин 98 прва појава детонације је на 11° па се мотор подешава за угао паљења 10° и тако редом, слика 49. Ове вредности угла паљења важе за моторе са коморама брзог сагоревања, какве имају сви нови мотори.

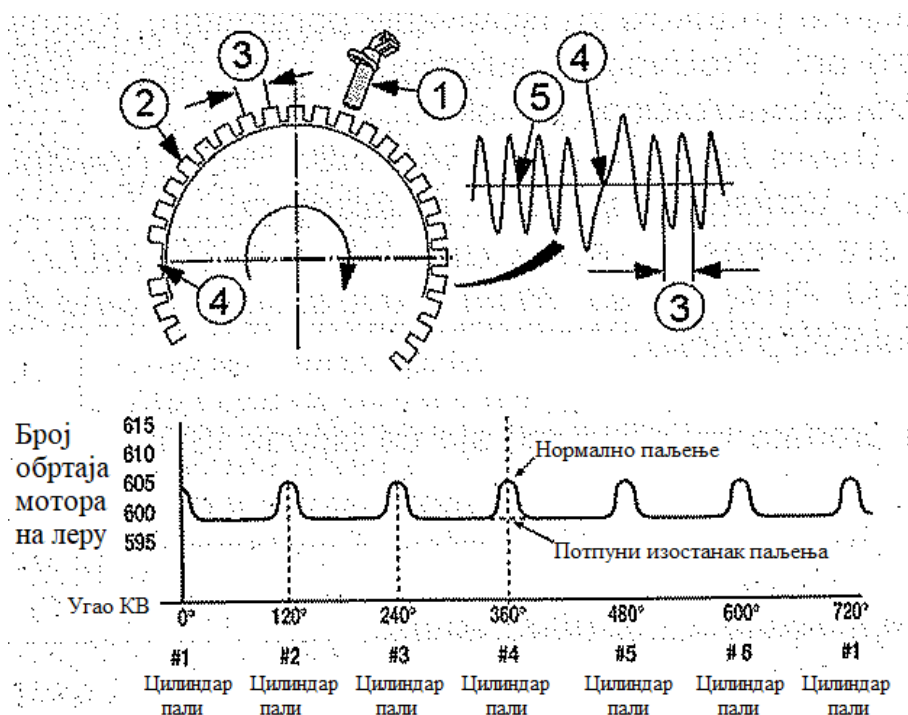


Слика 49: Подешавање претпаљења према квалитету горива[2]

3.4 Праћење изостанка сагоревања

Код ото мотора изостајање сагоревања смеше у цилиндру може довести до озбиљних последица по катализатор. Вишеструко изостајање доводи до уништења катализатора. Зато је информација о изостајању сагоревања веома важна за *OBD* дијагностику (енгл. *On-board Diagnostics*). До скоро је постојао проблем са непоузданим давачима.

Један од начина детектовања изостанка сагоревања је развила фирма *Toyota* и назвала га *Ne* сензор, слика 50. Тај сензор побуђује назубљена плоча са 36 мање 2 зуба. Изостављени зуби (4) служе да створе сигнал референтног положаја на бази кога се идентификује цилиндар у коме је дошло до изостанка сагоревања.



Слика 50: Детектовање изостанка сагоревања

- 1 – сензор броја обртаја, 2 – зуб, 3 – размак (време између два суседна зуба),
4 – изостављени зуб у циљу дефинисања референтног положаја појединих цилиндара,
5 – средина зуба[2]

Сигнал са давача броја обртаја обрађује ЕУЈ мотора. На основу изгледа сигнала утврђује се да ли је дошло до изостанка сагоревања, на ком се цилиндру то догодило и степен сагоревања (нормално, делимично изостало или потпуно изостало). Ток сигнала је такав да, када мотор има успешно упаљење и даље ефикасно сагоревање смеше, угаона брзина коленастог вратила има пораст након сагоревања током сваког ширења. Када се догоди изостанак упаљења и сагоревања, не долази до пораста угаоне брзине коленастог вратила. Када је детектован изостанак упаљења било код степена, бележи се: дијагностични код квара, број обртаја, оптерећење и температура мотора. У тежим случајевима изостанка паљења обавештава се и возач тако што сигнална *MIL* сијалица на инструмент табли почне да трепти.

4. ПЕРСПЕКТИВЕ И ТРЕНДОВИ РАЗВОЈА СИСТЕМА ПАЉЕЊА СМЕШЕ ОТО МОТОРА

Превоз, посебно лични, убрзао је и наш лични и друштвени напредак. Да би се напредак наставио и решили проблеми са којима ћемо се суочавати, биће потребна бројна побољшања у начину на који живимо и водимо наше животе. Већину њих ће обезбедити напредне технологије, које су у многоме усредсређене на то како превозимо људе и робу која се производи и користи. Док се не развију друга ефикаснија и економична средства транспорта, тренутни мотор са унутрашњим сагоревањем ће и даље бити најбоља могућност, бар у наредних неколико деценија.

Како би се задовољили тренутни и будући стандарди, као и економичност потрошње горива и емисија, произвођачи имплементирају неколико стратегија: смањење величине и тежине возила, повећање комплексности генератора додавањем турбо и суперпуњача, измену процеса сагоревања и система смањења емисије и увођење широког спектра хибридних и свих електричних возила.

Све ове стратегије су неопходне, али игноришу највећи потенцијал за побољшања: способност да се ефикасно запале и утроше смеше како течног, тако и гасовитог горива, обезбеђујући комплетно сагоревање уз минимизирање штетних емисија.

Жеља да се конструишу мотори који су ефикаснији и имају мању потрошњу горива допринела је појављивању алтернативних система за паљење смеше ото мотора. Иако су и даље у фази истраживања, сасвим је оправдано сматрати да би неки од њих у будућности могли заменити тренутно коришћени систем паљења варницом.

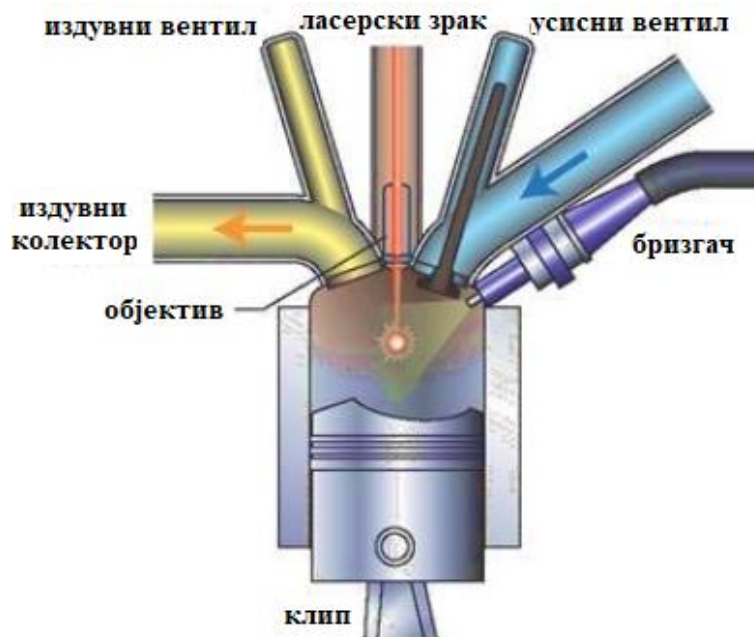
Главне алтернативе конвенционалног система паљења варницом које су тренутно у фази истраживања су:

- ласерско паљење,
- контролисано самозапаљење,
- Корона паљење и тд.

4.1 Ласерски систем паљења

Ласерско паљење (слика 51) користи ласерски извор светлости за паљење смеше. Иако постоје други механизми ласерског паљења, као што су фотохемијски механизам и резонантни или термички слом, због могућности одабира више таласних дужина ласера и једноставности примене, ова врста система паљења углавном се заснива на нечујном распаду гаса чврсто фокусираног импулсног ласерског зрака.

Јачина варнице се мења помоћу ласерског зрака који пролази кроз конвексни објектив и који је фокусиран на месту у комори за сагоревање где је пожељно да се деси упаљење смеше.



Слика 51: Ласерски систем паљења[15]

Предности система ласерског паљења у односу на систем паљења варницом су:

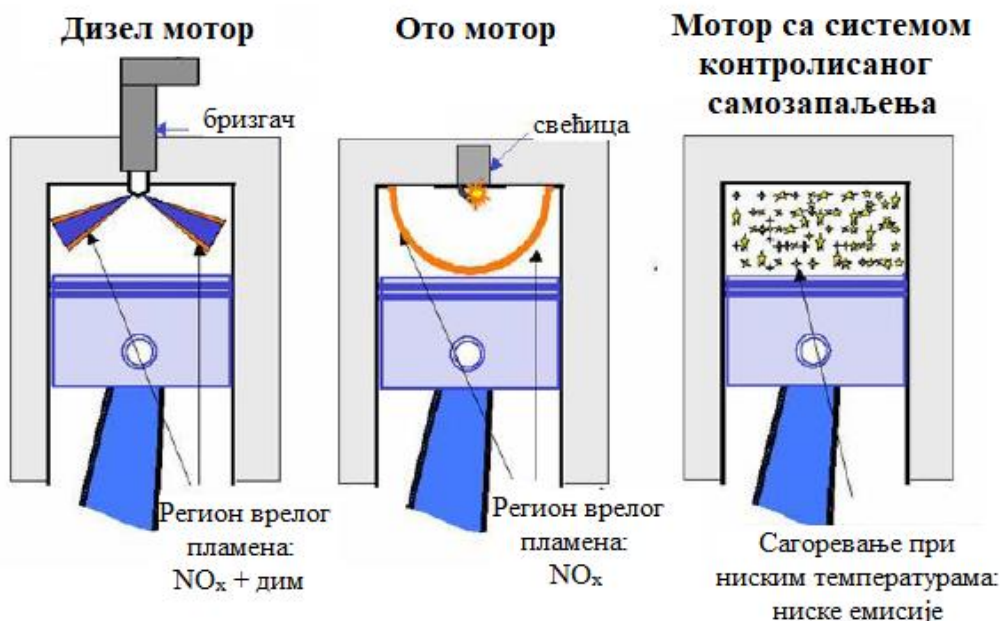
- ласерским паљењем могуће је запалити сиромашније смеше, што значи да су ниже температуре сагоревања, па самим тим и емисија NO_x ,
- очекује се да ће животног век ласерског система паљења бити много дужи него што је случај са свећицама, јер нема постоји ерозија,
- могући су већи притисци, па се ефикасност повећава, и
- прецизан тренутак паљења.

С друге стране, недостаци која спречавају примену ласерског система у актуелним моторима су:

- високи трошкови, и
- још увек нема комерцијалне реализације овог система.

4.2 Систем контролисаног самозапаљења

Систем контролисаног самозапаљења комбинује карактеристике бензинских и дизел мотора. У бензинским моторима паљење смеше се врши помоћу варнице, а у дизел моторима постоји самозапаљење смеше. Главни принцип рада система контролисаног самозапаљења (слика 52) је компресија смеше горива и ваздуха до њеног самозапаљења. Као и код система паљења варницом, гориво се убризгава током такта усисавања, али, да би се дошло до запаљења, уместо да се користи лучно пражњење, густина и температура смеше се повећавају компресијом док не дође до спонтане реакције.



Слика 52: Поређење цилиндара дизел, ото и мотора са системом контролисаног самозапаљења[15]

Главне предности система контролисаног самозапаљења у односу на систем паљења варницом су:

- већа ефикасност услед значајног смањења механичких губитака, што доводи до великог смањења емисије CO_2 ,
- гориво много брже сагорева, и
- сагоревање се одвија на нижим температурама ($<1300^\circ\text{C}$), што доводи до тога да емисије NO_x скоро и нема.

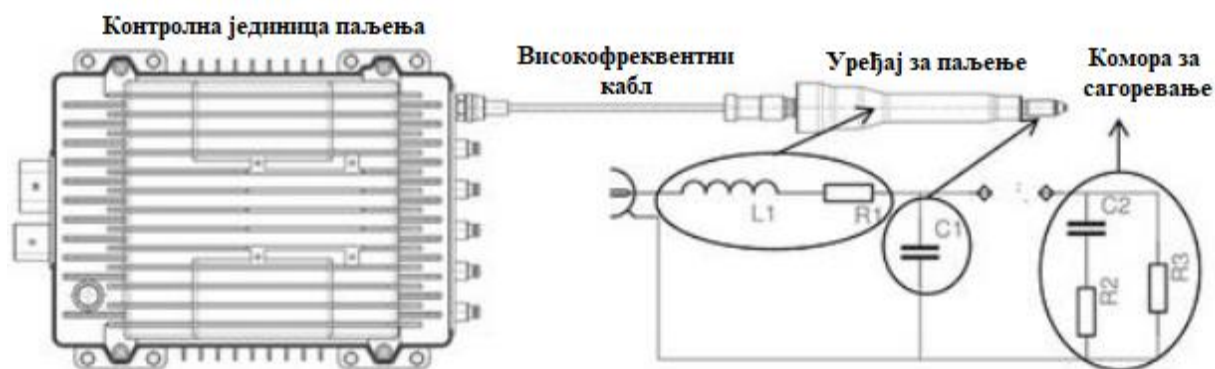
Са друге стране, један од главних разлога зашто се ова технологија још увек не користи у постојећим возилима су потребни високи степени компресије који изазивају проблеме са ударима приликом пуног оптерећења због високих притисака и ослобађања велике топлоте. Осим тога, емисије HC и CO су више него код типичног мотора са системом паљења варницом због непотпуне оксидације при брзим запаљењима.

4.3 Корона паљење

Посебно је занимљиво Корона паљење. Принцип рада овог алтернативног система паљења базиран је на Корона ефекту. Ова појава се састоји од електричног пражњења које се јавља на површини високонапонског проводника узрокованог стварањем „лавина” електрона, које се јављају када интензитет електричног поља превазилази одређену критичну вредност напона. Када се то догоди, околни ваздух проводника јонизује и светлосно пражњење се може приметити при слабом осветљењу.

Компанија *BorgWarner* је развила прототип овог система паљења који називају *EcoFlash* (слика 53). Он користи високофреквентни наизменични напон са фреквенцијом од неколико MHz за стварање јаког електричног поља на врху

електроде. Генерисање сигнала врши се у контролној јединици која садржи генератор фреквенције и DC-DC трансформаторе који повећавају напон на стотине волти пре него што се пренесе на уређај за паљење кроз коаксијални високофреквентни кабл.



Слика 53: Корона систем за паљење EcoFlash и еквивалентни дијаграм кола уређаја за паљење и коморе за сагоревање[15]

Компанија која је развија систем за паљење EcoFlash тврди да су предности овог система у односу на конвенционалне системе паљења варницом то што је смањена потрошња горива за 10%, већи је обим паљења, већа је способност паљења сиромашнијих смеша горива и ваздуха.

У принципу, систем значајно повећава економичност потрошње горива и смањује емисије загађујућих материја. Поређење уређаја за паљење и конвенционалне свећице дато је на слици 54.



Слика 54: EcoFlash уређај за паљење у поређењу са конвенционалном свећицом[15]

ЗАКЉУЧАК

Ото мотори, као врста мотора са унутрашњих сагоревањем, користе се у широком спектру превозних средстава, као што су аутомобили, мотоцикли, моторни чамци, као и у пољопривредним машинама. Запаљење смеше горива и ваздуха је од великог значаја за њихово функционисање.

Од самог почетка увођења законске регулативе која се односи на опрему ото мотора, и начин на који она утиче на околину, велика пажња је била посвећена систему за паљење. Стога су стручњаци из ове области непрестано улагали велике напоре како би ускладили овај систем са захтевима.

Почело се са класичним батеријским системима паљења смеше. Први корак напред, било је контактено транзисторско паљење. У овом случају је целој конструкцији разводника паљења био придодан транзистор који је задужен за прекидање примарног струјног круга. Учинак контактеног транзисторског паљења је јасан и своди се на мање трошење контаката прекидача који је изложен струји мање јачине. Бесконтактно транзисторско паљење био је следећи корак у развоју. Наиме, у њему је прекидач искључен из употребе, а његову је улогу преузео индукциони систем за иницирање паљења. Но, колики год су напредак таква решења понудила, и даље су постојали одређени проблеми. Тако, нпр. оба начина транзисторског паљења и даље су користи систем за промену тренутка паљења, било вакуумски или центрифугални. Електронски системи су и ове прелазне, нешто напредније разводнике паљења заменили у потпуности електронски системи са малим, појединачним бобинама.

На крају, развој ових система довео је до електронске управљачке јединице. Она на обраду прихвата податке о оптерећењу мотора, положају коленастог вратила, брзини рада мотора и сл. и њиховом анализом одабира оптималан тренутак паљења, у складу са мапом паљења похрањеном у меморији рачунара управљачке јединице.

Данашњи системи паљења по правилу не разводе струју високог напона (као код механичког разводника), већ се функција развођења напона одвија у примарном кругу (ниског напона). Нисконапонски пулс тако се доводи до појединачних индукционих (висконапонских) бобина које су распоређене по један за сваку свећицу или по један за свака два цилиндра.

Побољшање система паљења ће се наставити у правцу карактеристика које су данас незамисливе, јер напредовање технологије доводи до непрекидног прогреса. Алтернативни начини запаљења смеше, који не укључују постојање варнице, су већ у развоју. Иако ће до бројних побољшања сигурно доћи, сви типови система за паљење су добро прилагођени ери аутомобила за коју су првобитно били намењени и њихово одржавање и поправке се обављају једноставно.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ФИЛИПОВИЋ Иван, *Мотори и моторна возила*, Машински факултет у Тузли, Тузла, 2006.
- [2] ПЕШИЋ Радивоје, ПЕТКОВИЋ Снежана, ВЕИНОВИЋ Стеван, *Моторна возила и мотори - опрема*, Машински факултет у Крагујевцу и Бања Луци, 2008.
- [3] ТАРАНОВИЋ Драган, *Електрични и електронски системи на моторним возилима – скрипта*, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2013.
- [4] <https://www.scribd.com/doc/228068382/PALJENJE-1>, *Систем за паљење*, приступљено 20/09/2017
- [5] <https://sr.scribd.com/document/339857180/Ubrizgavanje>, *Убризгавање*, приступљено 21/09/2017
- [6] HALDERMAN James, *Advanced Engine Performance Diagnosis*, Pearson Education, Лондон, 2016.
- [7] <http://www.123seminaronly.com/Seminar-Reports/040/25071285-Ignition-System.pdf>, *Ignition System*, приступљено 22/09/2017
- [8] [https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/secondary-4-cylinders/Multi-coil-on-plug-secondary-ignition-\(4-cylinder-test\)](https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/secondary-4-cylinders/Multi-coil-on-plug-secondary-ignition-(4-cylinder-test)), приступљено 22/09/2017
- [9] <http://www.motorna-vozila.com/sistem-za-paljenje-oto-motora/bobina-prikaz-konstrukcije-2/>, *Приказ конструкције индукционог калема*, приступљено 23/09/2017
- [10] <http://pmlautomobili.com/2015/08/28/elektronski-sistem-paljenja/>, *Електронски систем паљења код бензинског мотора*, приступљено 24/09/2017
- [11] <https://shopdap.com/store/vw-audi-ignition-control-module-4d0905351.html>, *Ignition Control Module For VW*, приступљено 24/09/2017
- [12] РАДОЊИЋ Драгољуб, ПЕШИЋ Радивоје, *Мотори СУС I – скрипта*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [13] <https://www.boschautoparts.com/en/auto/spark-plugs/platinum-spark-plugs>, *Platinum Spark Plugs*, приступљено 24/09/2017
- [14] ГРУЈОВИЋ Александар, *Електроника аутомобила*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [15] DOMÈNECH Albert, *Control of a high frequency ignition system based in corona discharge with arduino*, Barcelona School of Industrial Engineering, Барселона, 2017.