

Razvoj digitalno upravljano uređaja za ispitivanje punjenja benzinskih motora sa indirektnim ubrizgavanjem

Ivan Dunderski, Dalibor Vukić, Dejan Matijević, Vera Petrović
 Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija
 Beograd, Srbija
ivand@viser.edu.rs
daliborv@viser.edu.rs
dejanm@viser.edu.rs
vera.petrovic@viser.edu.rs

Sadržaj – U ovom istraživanju prikazano je projektovanje, konstruisanje i izrada digitalno upravljano uređaja za kontrolu rada brizgaljki oto motora kod ubrizgavanja benzina. U razvoju su korišćena iskustva sa postojećim izvedenim rešenjima u cilju unapređenja funkcionalnosti uređaja. Izvršena su eksperimentalna ispitivanja uređaja u laboratoriji za motore i motorna vozila Visoke škole elektrotehnike i računarstva strukovnih studija u Beogradu i priloženi rezultati ispitivanja.

Ključne reči – brizgaljke; emisija štetnih gasova; impulsno širinska modulacija;

I. UVOD

Motori sa unutrašnjim sagorevanjem (SUS) usled nesavršenosti procesa sagorevanja imaju u izduvnim gasovima i komponente štetne po zdravlje čoveka i okolinu. Od oko 1% toksičnih komponenti, 70% čini ugljen-monoksid (CO), 20% nesagoreli ugljovodonici (HC) i 10% azotni osidi, uzročnici kiselih kiša. (Sadržaj čestica je zanemarljiv). [1]

Pri idealnom (stehiometrijskom, $\lambda=1$) sagorevanju fosilnih goriva dobija se vodena para (H_2O) i ugljen-dioksid, (CO_2). Ugljen-dioksid nije štetan po ljudsko zdravlje, ali učestvuje u smeši gasova koji stvaraju efekat „staklene bašte“ i povećava globalno zagrevanje Zemlje.

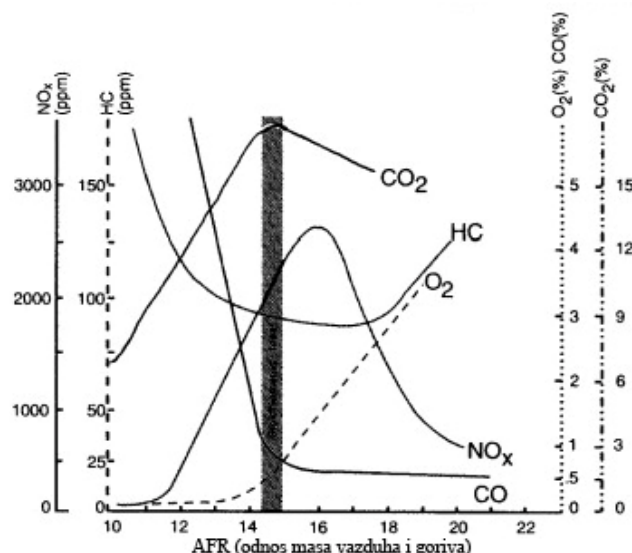
Za sagorevanje sa minimalnom količinom otrovnih komponenti u izduvnim gasovima i minimumom produkcije ugljen-dioksida potrebno je ostvariti idealan sastav smeše i minimum potrošnje goriva, što postavlja težište kontrole procesa sagorevanja na ispravan rad brizgaljki. [2]

II. EMISIJA ŠTETNIH GASOVA

Savremen oto motor, upravljano motornim računom, radi u promenljivim režimima momenta i snage. Veliki moment i snaga, potrebni za ubrzanje vozila i savladavanje velikih otpora kretanju dobijaju se bogatom smešom, $\lambda < 1$, kada se u produktima sagorevanja neminovno javljaju CO i HC, jer nema dovoljno kiseonika za sagorevanje. S druge strane, vrlo poželjan ekonomičan rad ostvaruje se sa siromašnom smešom, $\lambda > 1$, kada raste temperatura sagorevanja, usled čeg se stvaraju azotni oksidi. Idealno sagorevanje ne postoji ni sa stehiometrijskom smešom, $\lambda=1$, zbog nepotpune

homogenizacije smeše i temperaturnog polja smeše u radnom prostoru cilindra motora.

Za neutralizaciju CO i HC, motori koji rade sa „idealnom smešom“, $\lambda=1$, imaju u izduvnom sistemu tkzv. „trostepene“ katalitičke konvertore, a motori koji mogu da rade sa siromašnom smešom, $\lambda > 1$, imaju i dodatni konvertor za neutralizaciju azotnih oksida. Na Sl. 1. prikazan je sastav toksičnih komponenti i ugljen-dioksida u zavisnosti od sastava smeše. λ .



Slika 1. Sastav toksičnih komponenti i ugljen-dioksida u izduvnim gasovima u zavisnosti od sastava smeše, λ .

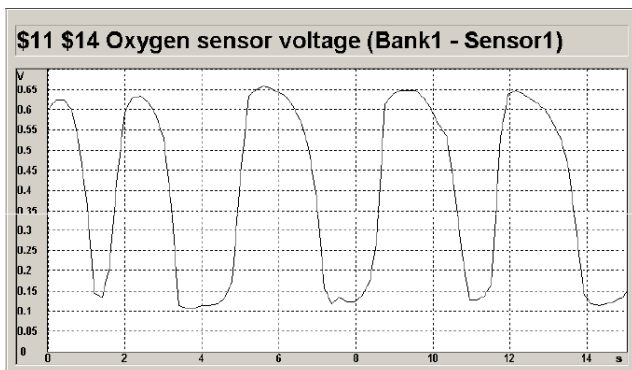
Određivanje sastava smeše, λ , zavisi, prema tome, od režima rada motora, a ostvarivanje potrebnog sastava postiže se mešanjem vazduha sa gorivom. Parametri sastava smeše su masa usisanog vazduha i masa ubrizganog goriva po ciklusu.

Masa usisanog vazduha (tačnije protok mase, $\Delta m/\Delta t$) meri se protokomerom mase vazduha, a masa ubrizganog goriva odmerava se vremenom ubrizgavanja goriva – „širinom impulsa“ ubrizgavanja.

Merenja i kod novog motora nisu tačna (ne mogu biti), a sa eksploatacijom vozila menjaju se radne karakteristike

protokomera i brizgaljki, usled čega dolazi do odstupanja u sastavu smeše. Kontrola sastava izduvnih gasova vrši se lambda sondom (davač) i sondom za azotne okside. Signali sa ovih sonde vode se putem povratne sprege u sistem automatskog upravljanja (SAU) radom motora. Na osnovu ovih signala vrši se korekcija smeše promenom mase ubrizganog goriva po ciklusu.

Kiseonička sonda generiše signal na osnovu kog se određuje sa kojim je sastavom smeše motor radio tokom prethodnih nekoliko radnih taktova. Integralna regulacija vodi rad motora u prelascima između siromašne i bogate smeše u veoma uskim granicama (Sl. 2). (Iako ime sonde sugerise da sonda može meriti samo prisutnost kiseonika u izduvnim gasovima, koga ima kod rada sa siromašnom smešom, $\lambda > 1$, ipak sonda može meriti i nedostatak kiseonika u bogatoj smeši sa $\lambda < 1$.)



Slika 2. Naponski signal lambda sonde

Upoređivanjem nominalnih vrednosti sa stvarnim vrednostima sastava smeše dobijenim merenjem kiseoničkom sondom, izračunava se greška i vrši kompenzacija greške sastava smeše λ .

Postoje dve vrste kompenzacije greške sastava smeše: Aditivna i multiplikativna.

Aditivnom kompenzacijom se na osnovno vreme ubrizgavanja dodaje vreme ubrizgavanja korekcije (red veličine dodatka je [ms]). Primenjuje se za rad na praznom hodu i za male momente motora i male brzine motora. Multiplikativnom kompenzacijom množi se osnovno vreme ubrizgavanja sa korekcionim faktorom, čija vrednost se kreće oko jedinice. Primenjuje se za srednje i velike momente i brzine motora.

Ako korekcija smeše pređe dopuštene granice, dolazi do poremećaja sastava smeše i rada motora. Raste količina toksičnih materija u izduvnim gasovima, raste potrošnja goriva, opadaju performanse motora. Rad motora na praznom hodu je nestabilan, vozivost opada, otežan je start hladnog motora i zagrevanje produženo. Vozač o tome dobija upozorenje preko *Malfunction Indicator Lamp (MIL)* signalne lampe.

Uzroci prekomerne kompenzacije smeše zbog netačnog merenja su zaprljan film protokomera sa vrelim filmom, a kod sistema koji protok mase vazduha izračunavaju preko merenja pritiska u usisnom sistemu, zaprljana membrana senzora pritiska. Izmerena količina vazduha je u pravilu manja od stvarno usisane, pa se u izduvnim gasovima pojavljuje višak

kiseonika. Kompenzacijom se dodaje više goriva do dopuštene granice kompenzacije, posle čega motor nastavlja da radi sa siromašnom smešom. Raste količina azotnih oksida u izduvu.

Na strani goriva, nečistoće u gorivu, koje prođu kroz filter goriva i dopru do brizgaljki talože se na prečistaču (filteru) na ulaznom vodu u brizgaljku. Sitnije čestice i teške frakcije goriva talože se unutar brizgaljki, na sedištu ventila, igli i mlaznici. Toplota, koja se sa motora prenosi na brizgaljke, vremenom i otvrdnjava talog, koji trajno ostaje unutar brizgaljki.

Protok goriva kroz prečistač brizgaljke se smanjuje, a talog ometa kretanje igle brizgaljke i protok kroz otvore brizgaljke. Kvalitet raspršivanja goriva opada, a protok kroz brizgaljku se zbog povećanih otpora smanjuje, pa je za istu širinu impulsa ubrizgavanja ubrizgana količina goriva manja, Sl. 3.



Slika 3. Izgled i formiranje mlaza čistih i zaprljanih brizgaljki

Gorivo koje nije pravilno raspršeno otežano isparava, homogenizacija smeše je loša, a time i sagorevanje u cilindru motora. Kod hladnog motora sagorevanje završava u izduvnom sistemu, gde dovodi do temperaturnog i termičkog stresa materijala lambda sonde i katalitičkog konvertora. Kod motora na radnoj temperaturi, loše raspršeno gorivo kasno isparava i sagoreva u odmakloj ekspanziji, pa se smanjuje dobijeni mehanički rad motora, a prekomerno raste temperatura i toplota izduvnih gasova. Dužim radom to takođe dovodi do oštećenja lambda sonde i katalizatora/konvertora. U ekstremnim situacijama, talog uzrokuje nemogućnost potpunog zatvaranja ventila brizgaljke, pa gorivo nakon zaustavljanja motora nastavlja da kaplje u usis sve dok se pritisak u sistemu ne smanji. Tako povećana koncentracija goriva u usisu otežava start zagrejanog motora. Kod svih pomenutih situacija raste emisija ugljovodonika i ugljen-monoksida, kao i potrošnja goriva.

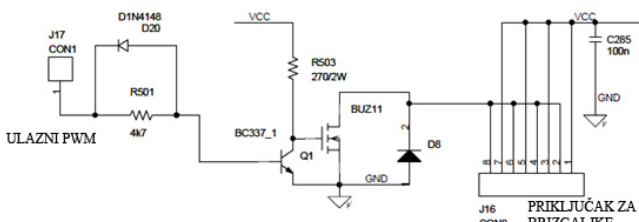
Laboratorijskim ispitivanjima firme ASNU iz Indije utvrđeno je da talog od samo 5 mikrometara na površinama ventila i sedišta ventila brizgaljke može da izazove smanjenje protoka goriva kroz brizgaljku i do 25%.

Za ispitivanje rada brizgaljki razvijen je uređaj kojim se vrši ispitivanje u uslovima sličnim radnim uslovima na motoru i utvrđuje ispravnost njihovog rada. Upravljačka komponenta uređaja ima mogućnost zadavanja širine (veličina punjenja) i učestanosti (broj obrtaja motora) impulsa ubrizgavanja, kao i mogućnost promene pritiska ubrizgavanja.

III. UPRAVLJANJE BRIZGALJKAMA

Uključenje brizgaljki na vozilu najčešće je realizovano tako da je elektromagnet koji otvara ventil brizgaljke jednim krajem vezan na stalni napon instalacije, dok vezu sa masom dobija iz računara. U samom računaru, snažan izlazni tranzistor vezan je na izlazni pin mikrokontrolera, koji tranzistorom upravlja. Pri uključenju brizgaljki, tranzistor iz zakočenja prelazi u triodnu oblast pri čemu se modelira kao veoma mala otpornost (svega nekoliko desetina mOhm), pa je i pad napona na njemu mali. [3], [4]

Upravljanje tranzistorom koje vrši mikrokontroler najčešće je PWM – impulsno širinska modulacija. To je način upravljanja digitalnim kontrolerom, takav, da se amplituda napona ne menja, već se menja odnos vremena osnovne učestanosti i vremena uključenja izlaza (uređaja). Prilikom provere ispravnosti brizgaljki na ispitnom stolu, uređaj sa mikroprocesorskim upravljanjem treba da simulira rad brizgaljki na vozilu, pa je najbolje realizovati upravljanje kao i kod motornog računara, preko PWM-a.



Slika 4. Električna šema izlaznog stepena sistema za upravljanje radom brizgaljki

Izlazni stepen uređaja realizovan je pomoću MOS tranzistora Q1, kao prekidača pomoću kog se uključuju brizgaljke. Tranzistor BC337 i otpornik R503 služe za davanje i skaliranje napona za uključenje MOS tranzistora (Sl. 4). [5], [6], [7]

IV. REALIZOVANANJE PWM POMOĆU MIKROKONTROLERA

Većina mikrokontrolera ima ugrađenu funkciju impulsno širinskog modulatora, pa je izbor mikrokontrolera za zahtevanu primenu dovoljno veliki. Zbog široke prisutnosti na tržištu odabran je *Texas Instruments MSP430F2121* mikrokontroler. Impulsno širinski modulator je zasnovan na tajmer/brojač periferiji i funkcioniše na istim principima, ali je za razliku od tajmer/brojač-a izlaz PWM funkcije izveden na nožice mikrokontrolera. Impulsno širinski modulator predstavlja

unapređenje osnovne tajmer/brojač funkcije i realizuje se pomoću funkcije poređenja, pri čemu se koristi sedam registara za poređenje (CCR0-CCR7).

Primenom sedam registara za poređenje moguće je na šest izlaza generisati PWM signal sa jednom kontrolisanom ivicom ili na tri izlaza PWM signal sa dve kontrolisane ivice. Prema tome, istovremenu realizaciju većeg broja PWM signala ograničava veličina registra za poređenje, a zatim i broj raspoloživih nožica mikrokontrolera.

Za primene u kojima je bitno samo trajanje aktivnog perioda (interval uključenja), a ne i položaj tog intervala unutar osnovne periode, primenjuje se režim rada impulsno širinskog modulatora sa jednom kontrolisanom ivicom (*single edge mode*).

Prilikom ispitivanja ispravnosti brizgaljki nije neophodno simuliranje rada motora u pogledu redosleda uključenja brizgaljki. Ispituje se samo saglasnost izmerenog protoka sa deklariranim vrednostima u različitim režimima ubrizgavanja. To znači da je u simulaciji dozvoljeno istovremeno uključivanje svih ispitivanih brizgaljki. Ovakvu simulaciju moguće je realizovati pomoću samo jednog PWM izlaza u režimu rada sa jednom kontrolisanom ivicom.

Algoritam realizovanja zahtevanog PWM signala je sledeći. Koriste se dva registra za poređenje. Jedan registar, CCR0, određuje trajanje PWM ciklusa.

U algoritmu realizovanja zahtevanog PWM signala koriste se dva registra za poređenje. Kada brojač dostigne vrednost koja se nalazi u prvom registru, CCR0, izlaz se postavlja na logičku jedinicu, što odgovara rastućoj ivici PWM signala i brojač se resetuje. Drugi registar, CCR1 treba da sadrži vrednost kojom se određuje pozicija opadajuće ivice PWM signala. Kada se vrednost brojača izjednači sa vrednošću CCR1 na odgovarajući PWM izlaz postavlja se logička nula (opadajuća ivica PWM). U ovom slučaju brojač se ne resetuje, jer ne bi dostigao vrednost CCR0 i ne bi bilo uključenja izlaza.

Više PWM izlaza bi u ovoj primeni imalo smisla koristiti samo ako bi uređaj posedovao podsistem za korekciju ubrizganih količina goriva. U tom slučaju bi bilo moguće odrediti i kolika su odstupanja karakteristika brizgaljki u odnosu na deklarisanu, kao i jedne brizgaljke u odnosu na drugu. Pri tom bi se koristili dodatni CCR registri za podešavanje opadajuće ivice, odnosno trajanja uključenja svake brizgaljke pojedinačno.

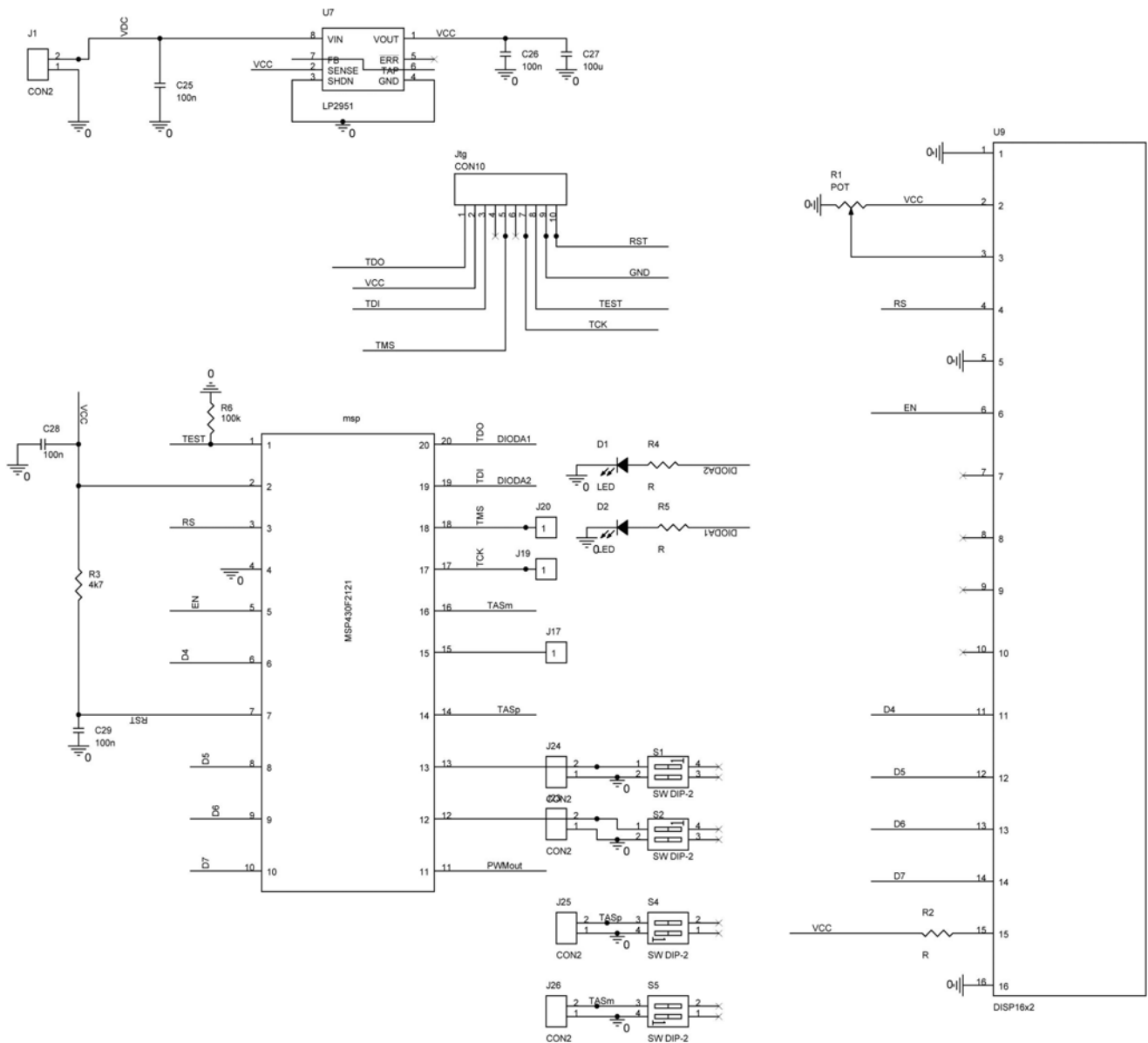
V. MIKROKONTROLER I FUNKCIJE UPRAVLJANJA

Izabrani mikrokontroler je 16-bitne RISC arhitekture. Posедуje 16-bitne registre, 16-bitni tajmer sa sedam registara za hvatanje i poređenje, analogni komparator i 16 ulazno-izlaznih pinova. Nominalno napajanje je 3V, ali može da radi sa naponima napajanja u intervalu od 1,8V do 3,6V. Potrošnja struje je veoma mala. Maksimalna frekvencija je 16 MHz, radna memorija 4 KB i flash memorija 256 KB.

Mikrokontroler se nalazi na zajedničkoj štampanoj ploči sa izvodima za displej i tasterima, dok se izlazni stepen za upravljanje brizgaljkama nalazi na ploči za napajanje. Na ploči za napajanje je i priključak za mrežni napon, kao i priključak

za brizgaljke. Dve ploče su povezane sa tri provodnika, pri čemu dva provodnika služe za napajanje, a jedan je za upravljački PWM signal iz mikrokontrolera, kojim se uključuje

i isključuje izlazni tranzistor. Na ploči sa mikrokontrolerom postavljena su četiri tastera. Na Sl. 5 je prikazana blok električna šema mikrokontrolera.



Slika 5. Električna blok šema mikrokontrolera

Po startovanju uređaja, na displeju je prikazan poslednji korišćen režim rada, ako uređaj nije gubio napajanje, ili osnovni režim, ako je uređaj ostao bez napajanja nakon poslednjeg korišćenja. U glavnom meniju moguć je izbor osnovne učestanosti upravljačkog signala, što odgovara broju obrtaja pri radu brizgaljki na motoru. Učestanost je moguće menjati tako da se dobije komplementarni interval broja obrtaja od 100 do 7000 o/min, sa koracima po 100 o/min. Širina impulsa (vreme trajanja ubrizgavanja) menja se u intervalu 0,5 do 30 ms sa koracima od 0,5 ms. Vreme ispitivanja podešava se brojem ciklusa uključivanja, deobom sa polovinom osnovne učestanosti, što daje trajanje ispitivanja min. [8]

Vrednosti se menjaju za po jedan korak na manje ili više pritiskom na taster „+“ i „-“. Kroz meni se kreće „meni“ tasterom, a izbor potvrđuje „potvrdi“ tasterom.

Postoje i tri predefinisana moda koja simuliraju uobičajene režime rada brizgaljki na motoru. Ovi režimi su sledeći:

- 1) *Prazan hod*
- 2) *Veliko opterećenje na srednjem broju obrtaja*
- 3) *Rad na visokim brojevima obrtaja*

Pod režimom tri podrazumeva se funkcionalnost otvaranja i zatvaranja brizgaljke u kratkim vremenskim intervalima što odgovara visokom broju obrtaja.

VI. HIDRAULIČNA INSTALACIJA

Napajanje mikrokontrolera i izlaznog stepena za uključenje brizgaljki izvedeno je tako da ima dovoljnu snagu da napaja i pumpu za gorivo.

Spoljni izgled uređaja prikazan je na Sl. 6.



Slika 6. Uređaj za kontrolu rada brizgaljki benzinskih motora

Za napajanje brizgaljki gorivom usvojena je pumpa za gorivo *Jetronic* sistema sa nominalnim pritiskom 5 bar i protokom 150 l/h. Energiju za rad pumpa dobija iz zajedničkog napajanja el. en. uređaja. Smeštena je u rezervoar sa tečnošću za ispitivanje, koji se nalazi u kućištu uređaja. Pumpa gumenim crevima sa oplatom isporučuje gorivo do razvodne cevi na kojoj se nalaze izvodi za svaku brizgaljku posebno, kao i izvod za ventil regulisanja pritiska goriva, jer pumpa nema sopstvenu regulaciju. Za regulisanje pritiska upotrebljen je mali ventil sa zavojnim vretenom, koji obara pritisak ispuštanjem goriva iz instalacije. Pritisak se reguliše ručnim okretanjem vretena, a ispušteno gorivo vraća u rezervoar. Za kontrolu pritiska ugrađen je u hidrauličnu instalaciju manometar.

Neposredno ispred brizgaljki postavljeni su uključno-isključni ventili, kojima se brizgaljke mogu pojedinačno uključivati u ispitivanje. Priklučci za ispitivanje postavljeni su na zajednički nosač, pomerljiv po vertikalnim stubovima. Nosač ima otvore u koje se umeću brizgaljke i pričvršćuju navrtkama. Gorivo iz brizgaljke tokom ispitivanja se sliva u graduisane menzure od 250 ml, kojima se ujedno i meri ukupna zapremina goriva koja prođe kroz brizgaljku tokom ispitivanja.

VII. PRIMENA UREĐAJA

U eksperimentu izvršeno je ispitivanje na brizgaljkama sa putničkog vozila VW Polo sa trocilindričnim benzinskim motorom zapremine 1.2 l i kodnom oznakom BME. Ispitivanje je vršeno pri sledećim vrednostima radnih parametara:

- 1) Pritisak goriva u instalaciji $p=3,2$ bar
- 2) Broj obrtaja motora $n=2500$ o/min
- 3) Vreme ispitivanja je $t_{isp}=60$ s
- 4) Širina impulsa $t_{imp}=15$ ms

Prema tehničkoj dokumentaciji proizvođača, nominalna vrednost protoka goriva kroz brizgaljku, pri kontinualnom uključanju iznosi 300 ml/min.

Proračunata vrednost protoka za režim ispitivanja brizgaljke na osnovu nominalne vrednosti je 187 ml/min.

Rezultati ispitivanja su prikazani u Tabeli 1.

TABELA I. REZULTATI ISPITIVANJA RADA BRIZGALJKI

Položaj ugradnje brizgaljke	Ispitne vrednosti					
	Pre čišćenja			Posle čišćenja		
	Zapremina goriva [ml]	Odstupanje od nom. vrednosti [%]	Oцена ispravnosti	Zapremina goriva [ml]	Odstupanje od nom. vrednosti [%]	Oцена ispravnosti
Cilindar 1	163 ml	-12,8 %	neisp.	192 ml	2,7 %	isp.
Cilindar 2	148 ml	-20,9 %	neisp.	189 ml	1,1 %	isp.
Cilindar 3	157 ml	-16,0 %	neisp.	185 ml	-1,1 %	isp.

Dijagnostičke indikacije.

a) Na motoru visok sadržaj ugljen-monoksida i ugljovodonika u sastavu izduvnih gasova posledica je loše homogenizacije smeše u kojoj postoji mnogo lokalnih centara sa bogatom smešom gde je sagorevanje nepotpuno.

b) Na brizgaljkama ispitivanje je ukazalo na umanjen protok goriva kroz brizgaljke do koga dolazi zbog povećanih otpora kretanju goriva. S obzirom da je vozilo prešlo preko 180.000km, a nije bilo intervencija na brizgaljkama sumnja je da je do povećanih otpora došlo zbog taloženja nečistoća i težih frakcija goriva na mestima unutar brizgaljke gde dolazi do nagle promene režima strujanja goriva. Talog u zoni otvora za ubrizgavanje, loše zaptivanje igle brizgaljke i gubitak "odesnog" otvaranja i zatvaranja otvora iglom prouzrokovalo je loše raspršivanje goriva. Posledica je nedovoljna isparljivost goriva ubrizganog u cilindar, time i loša homogenizacija smeše.

Izvršeno je čišćenje brizgaljki u ultrazvučnoj kadici. Čišćenjem su otklonjeni talozi nečistoća i brizgaljke vraćene u normalnu funkciju što je na motoru rezultovalo dobrom homogenizacijom smeše, a u brizgaljkama smanjenim otporima kretanju goriva i ispravnom raspršivanju goriva kod ubrizgavanja. Smanjenje otpora kretanju goriva kroz brizgaljke

potvrđeno je povećanim protokom goriva kroz brizgaljku za istu širinu impulsa ubrizgavanja.

Na Sl. 7 prikazan je sastav izduvnih gasova pre i posle intervencije na brizgaljkama za motor u praznom hodu, zagrejan na radnu temperaturu. Merenja su izvršena uređajem za analizu izduvnih gasova *Bosch BEA350*. Sastav izduvnih gasova je meren u izduvnoj cevi ispred katalitičkog konvertora.

Vrijednosti plina (Benzin)		
Br.okr. [r/min]	PEF	Ulje [°C]
880	0.513	91
CO [%vol]	Lambda	HC [ppmv]
6.045	0.830	308
CO2 [%vol]	O2 [%vol]	NO [ppmv]
10.94	0.20	---
ESC	COcor	

Pre čišćenja brizgaljki

Vrijednosti plina (Benzin)		
Br.okr. [r/min]	PEF	Ulje [°C]
950	0.514	92
CO [%vol]	Lambda	HC [ppmv]
0.256	1.034	90
CO2 [%vol]	O2 [%vol]	NO [ppmv]
13.30	0.92	---
ESC	COcor	

Posle čišćenja brizgaljki

Slika 7. Sastav izduvnih gasova pre i posle izvršene intervencije na brizgaljkama

VIII. ZAKLJUČAK

Razvojem novog uređaja opisanog u radu ostvarena je mogućnost aktivne edukacije studenata sa postupkom ispitivanja karakteristika rada brizgaljki benzinskih motora. Istovremeno, studenti se upoznaju sa osnovnim principima digitalnog upravljanja i primenom PWM signala i izmenama („on-line“) programskog koda mikrokontrolera.

Na laboratorijskim vežbama na predmetu „Elektronski sistemi paljenja i ubrizgavanja“ u okviru studijskog programa „Automatika i sistemi upravljanja vozilima“ prilikom korišćenja uređaja vršena su merenja sastava izduvnih gasova pre i posle intervencije – otklanjanja neispravnosti na brizgaljkama. Na taj način su direktno dovodene u vezu različite neispravnosti u radu brizgaljki sa odstupanjem emisije štetnih komponenti izduvnih gasova od nominalnih vrednosti.

LITERATURA

- [1] “Bosch Handbook for Gasoline Engine Management”, 2006.
- [2] “Bosch Automotive Handbook”, 7th Edition, 2007.
- [3] “Bosch Handbook for Automotive Electrics - Automotive Electronics”, 5th Edition, 2007.
- [4] Ronald K. Jurgen, “Automotive Electronics Handbook”, 2nd Edition, McGraw Hill Professional, 1999.
- [5] Robert Ericson, Dragan Maksimović, “Fundamentals of power electronics”, 2nd Edition, Norwell, Mass: Kluwer Academic, 2001.
- [6] Dragan Vasiljević, Spasoje Tešić, “Osnovi elektronike”, šesto izdanje, Građevinska knjiga, Beograd, 2008.
- [7] Slavoljub Marjanović, “Elektronika 1”, Akademska misao, drugo izdanje, 2004.
- [8] Dalibor Vukić, “Mikroprocesorsko upravljanje sistemom za ispitivanje brizgača benzinskih motora”, završni rad Visoka škola elektrotehnike i računarstva strukovnih studija, Beograd, 2011.

ABSTRACT

This study presents the design, development and construction of digitally controlled device for testing the petrol engine injectors. The experiences from the existing solutions were used in the development in order to improve functionality of the device. The device is tested in the Laboratory for engines and vehicles at the School of electrical engineering and computer science applied studies and the accompanying test results are submitted.

Development of a digitally controlled device for testing manifold injection petrol engines charge

Ivan Dunderski
 Dalibor Vukić
 Dejan Matijević
 Vera Petrović