

RAZVOJ UREĐAJA ZA ISPITIVANJE ČISTOĆE HIDRAULIČKOG FLUIDA DEVICE DEVELOPMENT FOR TESTING THE PURITY OF HYDRAULIC FLUID

Goran Rodić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U radu je razmotren razvijeni prototip mobilnog uređaja za testiranje čistoće hidrauličkog fluida. Testiranje se vrši pomoću hidrauličkog senzora koji broji količinu čvrstih čestica, a zatim se dobijeni kod ispisuje na displej uređaja.

Ključne reči: Hidraulika, Elektronika

Abstract – This paper presents a developed prototype of a mobile device for testing the purity of hydraulic fluid. The testing is performed using a hydraulic sensor that counts the amount of solid particles, and then the obtained code is printed on the display of the device.

Keywords: Hydraulics, Electronics

1. UVOD

Tehnička dijagnostika predstavlja niz aktivnosti koje se vrše nad određenim tehničkim sistemom da bi se odredilo i pratilo stanje sistema. Dakle, aktivnosti se sprovode sa ciljem ocene trenutnog tehničkog stanja sistema radi planiranja i preduzimanja adekvatnih aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog stanja sistema u budućnosti [1].

Hidraulički sistemi, kao tehnički sistemi za prenos i transformaciju energije, koriste radni fluid u tečnom agregatnom stanju (najčešće mineralno ulje, ali mogu da se koriste i sintetičke tečnosti, emulzije ili voda), i veoma su zastupljeni u savremenim automatizovanim tehničkim sistemima.

Više od 70% svih mehaničkih otkaza hidrauličkih komponenti nastaju zbog degradacije kontaktne površine radnih elemenata komponenti, gde većina degradacije dolazi od čestica u hidrauličkom ulju [2].

Poboljšanje čistoće hidrauličkog ulja odražava se na brzinu rada, pouzdanost sistema, duži vek trajanja ulja, manje utrošenih sati na održavanje, te smanjuje troškove zamene ili popravke skupih komponenti. Poboljšanje čistoće za dve klase može značiti udvostručenje životnog veka komponenti hidrauličkog sistema [2].

Nivo kontaminacije u fluidima se definiše klasama čistoće. Ključne klasifikacije su napravljene u skladu sa standardom ISO 4406 ili SAE AS 4059 koji daju kodovane vrednosti čistoće fluida.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je dr Velibor Karanović, docent.

2. ANALIZA PROJEKTA-PROBLEMA

Osnovu ovog projekta predstavlja senzor HIAC ROC-71 laserski brojač čvrstih čestica slika 2.1. koji je predviđen da radi pomoću ROC softvera zbog kalibracije, a zatim i čitanja izmerenih podataka. Zadatak je da se ovaj hidraulički senzor odvoji i osposobi za rad bez povezivanja sa računarom. Senzor ima mogućnost testiranja hidrauličkog ulja:

- **Online** - testiranje koje se vrši priključenjem senzora na postojeću instalaciju hidrauličkog sistema i direktno meri čistoća fluida u sistemu.
- **Offline** – testiranje podrazumeva postojanje zasebnog sistema koji obezbeđuje cirkulaciju uzorka ulja kroz senzor i merenje čistoće fluida.

Uz realizaciju ova dva tipa testiranja, potrebno je realizovati reprezentaciju signala poslatih sa senzora. Ovo zahteva projektovanje i izradu adekvatnog elektro-hardvera na taj način da adekvatno oponaša sistem povezan na računar.



Slika 2.1. HIAC ROC senzor- laserski brojač čestica

Zbog svega prethodno navedenog nastala je ideja za izradu mobilnog uređaja koji će sadržati sve potrebne elemente koji bi omogućili oba načina testiranja bez fizičkog povezivanja sa računarom.

Takav mobilni uređaj bi trebao biti zaštićen od svih spoljašnjih uticaja i smešten u kofer.

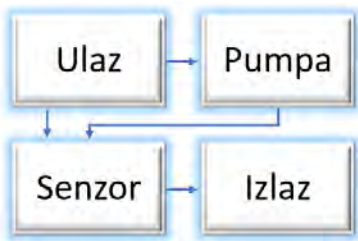
3. PREDLOG PROJEKTOG REŠENJA UREĐAJA (ŠEMATSKI)

Ceo sistemski idejni nacrt rešenja ovog problema je posmatran za više različitih aspekata. Pre svega ističu se četiri koncepta sa kog je posmatran problem:

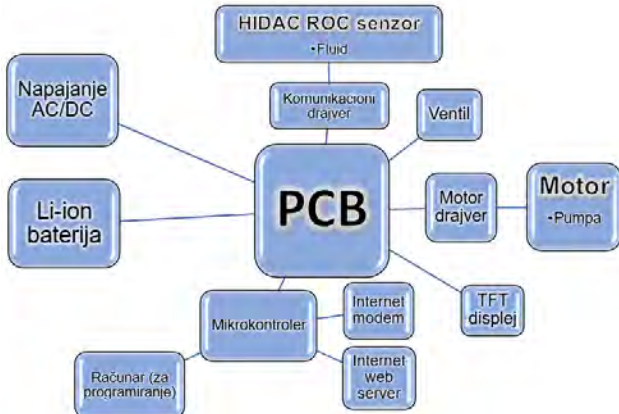
1. Hidraulički, dijagram 3.1
2. Elektro-Hidraulički, dijagram 3.2
3. Električni, dijagram 3.3
4. Softverski.

4. REALIZACIJA KOMUNIKACIONOG MODULA

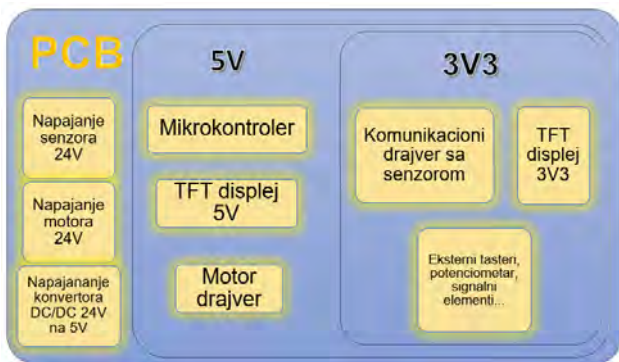
Kao ulazni parametar ovog sistema je kodovani signal koji senzor šalje i koji je potrebno obraditi i ispisati na displej i internet stranicu.



Dijagram 3.1. Hidraulički koncept sistema



Dijagram 3.2. Elektro-hidraulički koncept sistema



Dijagram 3.3. Električni koncept sistema

Uporedno sa tim potrebno je dati odgovarajući signal za rad motora. Ova dva procesa se odvijaju paralelno sve dok postoji napajanje, kao i povratni signal koji šalje senzor o izvršenom merenju.

4.1. Odabir komponenti

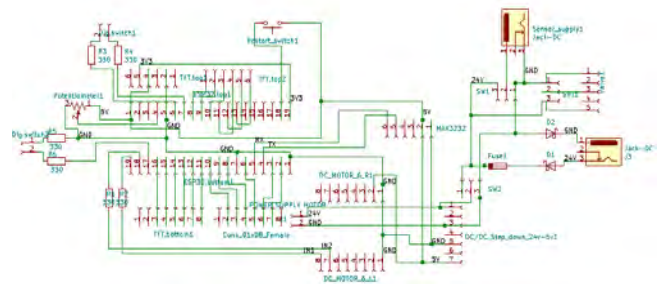
Odabrane električne komponente i moduli za ovaj komunikacioni modul bez koga sistem ne bi mogao da funkcioniše na adekvatan način su:

1. MAX3232 click, služi kao konvertor dve komunikacije RS232 sa senzorom i UART sa mikrokontrolerom;
2. ESP32 Node MCU, koji na sebi ima čip ESP WROOM-32 i služi za generisanje svih potrebnih signala i komunikacija koja ovaj sistem treba da poveže. Takođe ima zadatak da parsira podatke na internet stranicu kao i LCD ekran.
3. TFT LCD 2.4" 320x240 displej sa ILI9341, koji ima zadatak da ispiše sve potrebne kodove čistoće ulja, takođe da bude ulazna periferna jedinica za slanje signala ka mikrokontroleru.
4. DC motor 6 click, je motor drajver od proizvođača Mikroelektronika koji šalje PWM signal sa određenom amplitudom ka motoru.

5. Ispravljač napona PS-120-24 220VAC/24V-5V, spušta i ispravlja mrežni napon na 24V koja koristi senzor i razvodni ventil.
6. Buck pretvarač sa 24V na 5V sa mogućnošću regulacije napona i struje pomoću potencijometra.
7. Li-ion baterija od 4.4Ah sa srednjom vrednošću napona od 24V, koja služi kao zamensko napajanje sistema.

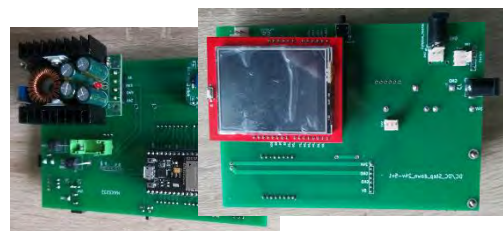
4.2. Dizajn i izrada prototipa PCB pločice

Zbog moguće pojave problema kabliranja, odnosno snalaženja u ožičavanju prethodno izabranih komponentama odlučeno je da se dizajnira, a zatim i pravi PCB. Ta pločica bi imala zadatak da integriše sve komponente sistema i pojednostavi njihovo korišćenje. Da bi se takva električna pločica odnosno PCB, realizovala potrebno je da prođe određeno vreme razvoja, a to podrazumeva niz procedura i provera da bi se moglo smatrati reprezentativnim i sigurnim u ispravnost. Bilo je potrebno da se vodi računa da periferni komponente imaju već definisan oblik i pinove na tačno određenim pozicijama preko kojih se dovode signali. Iz tog proizilazi da je potrebno odraditi verodostojan rasporeda elemenata na ploči da bi sve komponente mogle da stanu, a pritom da ne dodje do preplitanja vodova i signala na njoj.



Slika 4.1. Predlog električne šeme prvog prototipa PCB pločice

Na slici 4.1. su definisane sve komponente i putevi da bi se izradila PCB pločica mobilnog uređaja. Pri tome vodi se načina da ovo nije jedini način povezivanja, ali da bi smo znali koji je pravi način potrebno je uraditi simulaciju sistema. Pošto je već rečeno da ovakav ili sličan sistem ne postoji i da ovo predstavlja prototip, pritom ne posedovanje adekvatnog softvera za simulaciju ovakvih električnih sistema odlučeno je da se ide sa izradom ovakvog rešenja. Nakon toga bi se radila sva potrebna testiranja sistema i uočile eventualne greške. Na slici 4.2. je prikazan izgled pločice sa instaliranim svim komponentama koje se koriste u sistemu.



Slika 4.2. Izgled PCB ploče sa komponentama sa gornje i donje strane

Unutar mikrokontrolera je razvijan firmver (firmware) koji sinhronizuje rad svih električnih periferija i

obezbeđuje ispis hidrauličkog koda poslatog od senzora na TFT LCD displeju i na Web serveru koji je pravljen za potrebe ukoliko korisnik nije blizu sistema.

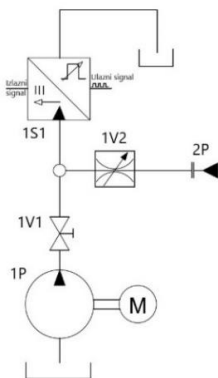
5. HIDRAULIČKO REŠENJE PROBLEMA

Pod hidrauličkim rešenjem je podrazumevano definisanje elemenata hidrauličkog sistema potrebnih za obavljanje funkcije dovođenja fluida do senzora HIAC ROC-71 u online ili offline režimu rada. Specifikacije o hidrauličkom sistemu u ovom slučaju diktira senzor jer je on najosetljiviji. Potrebne specifikacije su date u tabeli 1.

Tip	Vrednost
Priključci	SAE -4, SAE -8
Protok za ROC-71	50 do 500 mL/min
Maksimalni pritisak	482.6 bar
Pad pritiska za ROC-71	6.9 bar do 82.7 bar

Tabela 1. Prikaz hidrauličkih specifikacija senzora[5]

Cilj hidrauličkog rešenja je bio da se sistem reši sa što manje komponenti koje će ga sačinjavati. Zbog toga šematski izgled sistema koji je potreban da uređaj za ispitivanje hidrauličkog fluida funkcionše je prikazan na hidrauličkoj šemi - slika 5.1. Na šemi su realizovana oba načina testiranja online i offline koji se regulišu preko odgovarajuće slavine i prigušnice. Kao što se može primetiti za offline testiranje postoji pumpa sa motorom 1P koja obezbeđuje dovoljan protok i pritisak za rad senzora. Takođe važno je napomenuti da je u tom trenutku nakon prigušnog ventila 1V2 cevovod zatvoren, ugradnjom brzorastavne spojnice koja u sebi ima ugrađen nepovratni ventil. Kod online merenja pumpa 1P ne radi, slavina 1V1 je zatvorena dok je sistem priključen na neki drugi eksterni sistem, iz kog direktno dobija fluid pod pritiskom preko priključka 2P. U tom slučaju prigušnim ventilom 1V2 definišemo pritisak i protok u sistemu sa sensorom.

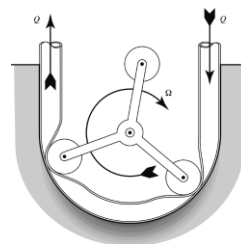


Slika 5.1. Izgled hidrauličkog sistema glavna šema

Komponenta 1V1 je izabrana od proizvođača Hansa Flex sa oznakom HK V2 572, dok komponentu 1V2 od proizvođača MHA ima oznaku BKHP500. Obe komponente imaju dovoljne tehničke specifikacije da zadovolje potrebe ovog sistema.

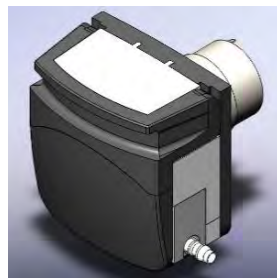
6. PERISTALTIČKA PUMPA SA MOTOROM

Princip rada peristaltičke pumpe je prikazan na slici 6.1. gde je prikazan tipičan dizajn gde skup rotacionih elementata ciklično komprimuje fleksibilnu cev. Elementi se mogu kotrljati ili klizati duž cevi, dok broj kontaktnih elemenata može da varira.

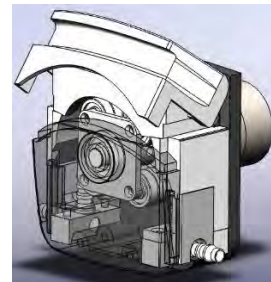


Slika 6.1. Princip rada peristaltičke pumpe [3]

Korišćenjem ovakvog sistema eliminiše se bilo kakva mogućnost curenja tečnosti na ostale delove štiteći tečnost od kontaminacije elemenata pumpe. Zbog toga ukazuje se da je kod ove pumpe potrebna zamena uglavnom jedne komponente (tj. elastičnog creva) tokom njenog radnog veka, ukoliko se sa njom rukuje kako je predviđeno. [3] Zbog relativno jednostavne konstrukcije peristaltičke pumpe odlučeno je da se dizajnira pumpa namenjena za potrebe ovog projektnog rešenja koja će ga u potpunosti zadovoljiti. Kao takva zbog lakšeg pravljenja svih komponenti materijal će biti plastika. Odlučeno je da izrada bude na 3D štampaču sa materijalom koji ima najbolja mehanička svojstva tj. CPE odnosno PET plastika. Izgled 3D modela pumpe upotrebom softvera SolidWorks je prikazan na slici 6.2, dok na slici 6.3. je transparentno prikazana unutrašnjost pumpe sa podignutim poklopcem, gde se mogu videti ležajevi kao elementi za generisanje potiska elastičnog creva. Dimenzije ležajeva su podložne izmenama zbog proračuna.



Slika 6.2. 3D model peristaltičke pumpe



Slika 6.3. 3D model sa transparentnom prednjom stranom

Proračun zapremine i protoka peristaltičke pumpe koja se izrađuje računa se na osnovu dimenzija creva, brzine motora, broja krakova rotacionog elementa.

Nakon što je izabrano crevo unutrašnjeg prečnika $\varnothing 6$ moguće je izračunati zapreminu pumpe po formuli (1) gde je d unutrašnji prečnik creva, a l dužina creva koja se nalazi unutar pumpe.

$$V = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot l = \frac{6^2 \cdot \pi}{4} \cdot 150 \text{ mm} = 4242 \text{ mm}^3 \approx 4.242 \text{ ml} \quad (1)$$

Prema proračunu ukupna zapremina peristaltičke pumpe iznosi 4.242 mL.

Na slici 6.4. prikazana je izrađena i sastavljena peristaltička pumpa. Protok pumpe se definiše kao količina fluida koji izađe iz pumpe u toku vremena. U ovom slučaju protok se računa prema formuli (2):

$$Q = V \cdot n \cdot s; \quad (2)[4]$$

Gde je Q protok pumpe, V zapremina pumpe, n brzina obrtanja vratila motora i s broj krakova na obrtnom delu pumpe.



Slika 6.4. Prikaz izradene pumpe

Pošto je protok sistema definisan karakteristikom senzora i iznosi 50-500 mL/min[5], koji direktno zavisi od brzine obrtanja motora. Iz formule (2) zaključujemo da je brzina motora jednaka:

$$n_{min} = \frac{Q_{min}}{V \cdot s} = \frac{50 \frac{mL}{min}}{4.242 mL \cdot 4} \approx 3 \frac{o}{min} \quad (5)$$

$$n_{min} = \frac{Q_{max}}{V \cdot s} = \frac{500 \frac{mL}{min}}{4.242 mL \cdot 4} \approx 30 \frac{o}{min} \quad (6)$$

gde se može primetiti da je potreban izuzetno mali broj obrtaja motora i to između 3 i 30 obrtaja u minuti ukoliko koristimo ovaj prečnik creva. Smanjivanjem prečnika creva hidrauličke pumpe, smanjujemo zapreminu dok povećavamo broj obrtaja. Odlučeno je da se kotisti motor sa malo većim brojem obrtaja pre svega zbog mogućnosti promene hidrauličkog sistema. To se najviše odnosi na konstrukciju pumpe, odnosno veličinu creva koja u ovom slučaju može biti i do Ø3, ukoliko se uzme motor HG37-030-AB-00 od proizvođača Copal.

7. IZGLED I FUNKCIONALNOST GOTOVOG PROJEKTA

Da bi smo testirali dizajniran sistem potrebno je bilo uraditi nekoliko malih izmena, a zatim na određeni način izvršiti test. Početno online testiranje se vrši na već postojećem hidrauličkom sistemu slika 7.1. Senzor je priključen direktno na agregat gde se vrši testiranje hidrauličkog ulja, radi razvoja softverskog rešenja.



Slika 7.1. Testiranje hidrauličkog ulja na agregatu pomoću HIAC ROC senzora

Nakon izvršenih potrebnih merenja, a zatim i snimanja podataka za razvoj firmvera, prešlo se na realizaciju celokupnog sistema. Zbog toga izgled gotovog projektnog rešenja je prikazan na slici 7.2. na kojoj se mogu primetiti sve komponente sistema, i podsistema kao i njihove veze. Dodatno su napravljene električne pločice da se merenja mogu izvršiti adekvatno i instalirati na sistem.

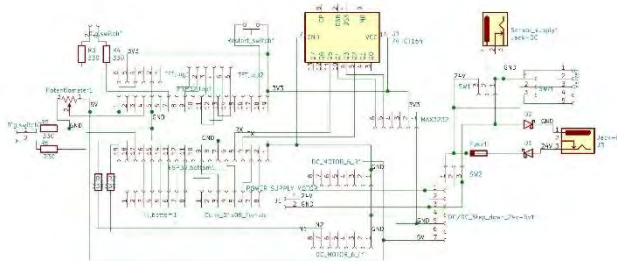


Slika 8.2. Izgled mobilnog uređaja na presovanom drvetu

8. ZAKLJUČAK

Svi delovi sistema nisu radili kako je očekivano. Pre svega na električnoj ploči prilikom snimanja podataka generisanih od senzora je pronađeno da signal nije mogao biti obrađen, a to pre izrade pločice sa slike 4.2. nije moglo biti utvrđeno. Pored toga uspešno je regenerisan signal koji je potrebno poslati senzoru da bi se adekvatno podesili registri senzora i dobila vrednost izmerenih parametara u tačno određenim vremenskim trenucima.

Rešenje za ovaj problem je pronađeno, i to pravljenjem nove PCB ploče koja će sadržati izmene, pre svega dodavanjem određenog logičkog kola (Invertovanog I) da bi primljen signal moglo obraditi. Prepravljena šema pločice je prikazana na slici 8.1.



Slika 8.1. Prepravljena električna šema za adekvatan rad

Ostali delovi sistema su radili na očekivan način. Uspešno je generisan ispis na TFT LCD displej, sa mogućnošću prikaza vremena u kome se vršio test. Pored toga isti podaci su bili ispisivani na internet web server, kojem je korisnik imao pristup prilikom rada ovog sistema. Pristup serveru je imao korisnik upisom IP adrese mikrokontrolera.

Hidraulička peristaltička pumpa je uspešno generisala željeni protok fluida, pri PWM signalu smanjenim na 50% periode.

9. LITERATURA

- [1] Adamović Ž.: "Tehnička dijagnostika u mašinstvu"; Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [2] Perić R. Sreten: „Savremenemetode analizeulja u tehničkim sistemima“, Vojna akademija – Katedra vojnih mašinskih sistema, Beograd
- [3] Jordan M. Berg, Tim Dalas: "Peristaltic Pumps"; Nano Tech Center & Department of Mechanical Engineering, Texas Tech University, Lubbock, USA, 2007.
- [4] T. W. Latham, "Fluid motions in a peristaltic pump", MIT, Boston, USA, 1966.
- [5] <https://www.beckman.com/techdocs/DOC026.97.803045/wsr-213772>

Kratka biografija



Goran Rodić rođen je u Novom Sadu 09.10.1995. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Mehatronika – Mehatronika, robotika i automatizacija odbranio je 2018.god. kontakt: goran.rodic95@gmail.com