

Sistem za merenje i automatsku regulaciju protoka gasa u okviru uređaja za ispitivanje oksidacione stabilnosti transformatorskih ulja “Termoblok”

Aleksandar Žigic¹, Nenad Kartalović¹, Nikola Cakić^{1,2}, Jelena Lukić¹, Srđan Milosavljević¹

¹Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8A,
11000 Beograd, Srbija
azigic@ieent.org

²Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73
11000 Beograd, Srbija

Kratak sadržaj: U radu je prikazan sistem za merenje i automatsku regulaciju protoka gasa koji je deo uređaja za ispitivanje oksidacione stabilnosti transformatorskih ulja „Termoblok“. Uz već ranije realizovani uređaj za monitoring i automatsku regulaciju temperature uzoraka ulja realizovan je model protokomera koji je ujedno i automatski regulator protoka vazduha ili kiseonika kroz uzorke ulja. Posebna specifičnost realizovanog sistema je merenje veoma malih protoka gasa. Dat je kratak tehnički opis realizovanog sistema sa funkcionalnim blok dijagramom. Specificirane su osnovne tehničke karakteristike sistema, koncept rada i primena ovakvog sistema. U radu su priloženi i rezultati sprovedenih ispitivanja na realizovanom sistemu u realnim uslovima eksploatacije.

Ključne reči: merenje protoka, protok gasa, automatska regulacija, oksidaciona stabilnost, transformatorsko ulje

1. Uvod

Nova, kao i regenerisana transformatorska ulja, moraju proći ispitivanje njihove oksidacione stabilnosti u skladu sa odgovarajućim IEC standardom da bi se procenilo njihovo ponašanje u toku perioda eksploatacije [1], [2]. Metode za ispitivanja oksidacione stabilnosti ulja baziraju na ubrzanom starenju uzoraka ulja u laboratorijskim uslovima na visokoj temperaturi pri pojačanom protoku kiseonika ili vazduha u prisustvu bakra u formi bakarne spirale u određenom intervalu vremena. Postoji potreba od strane Hemijske Laboratorije Elektrotehničkog instituta “Nikola Tesla” kao i srodnih

Laboratorija u Evropi za ispitivanje transformatorskih ulja metodama ubrzanog starenja sa savremenijim, potpuno automatizovanim "Termoblok" uređajem koji bi održavao vrednosti ključnih parametara ispitivanog procesa u skladu sa IEC standardima ali koji ne bi po drugim performansama bio gori kao i ceni skuplji od trenutno dostupnih na tržištu. Konkretno uređaj za objedinjeno merenje i kontrolu temperature ulja i protoka gasa bi mogao da se plasira na tržištu po sličnoj ili nešto nižoj ceni od postojećih uređaja ali sa sledećim prednostima:

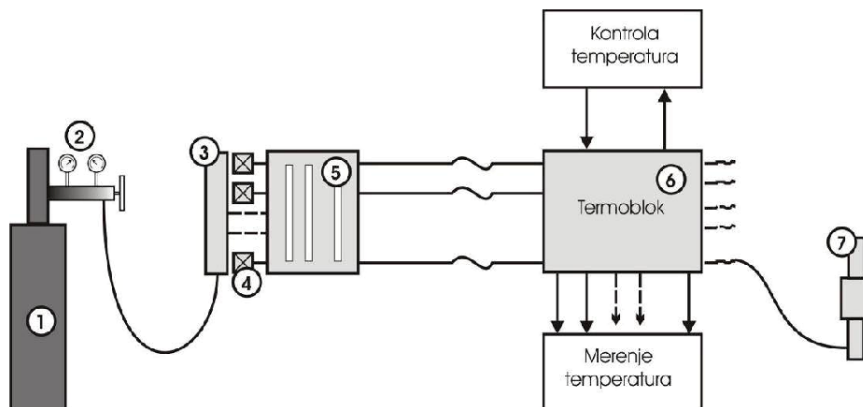
- Merenje i regulacija temperature i protoka su potpuno automatizovane
- Vrednosti temperatura ulja u kivetama i protoka gasa kroz kivete su striktno u granicama određenim odgovarajućim IEC standardima
- Nadzor nad "Termoblok" uređajem kao i monitoring temperatura i protoka bi bio bežični, nezavisan od kablova i kompjuterskih LAN mreža sa jednim operaterskim i do 6 korisničkih istovremenih konekcija

Ranije je razvijen sistem koji kontinualno održava u striktnim granicama temperaturu uzoraka određenom IEC standardom [3], u daljem tekstu referisan kao stari sistem. U ovom radu je opisan novi sistem koji radi u tandemu sa regulatorom temperature, a koji vrši funkcije merenja, regulacije protoka gasa kroz kivete sa uzorcima, i funkciju udaljenog bežičnog očitavanja protoka gasa kao i zadavanje vrednosti protoka gasa. Realizovani regulator protoka gasa zadovoljava sledeće tehničke zahteve:

- na zahtev bežičnog kontrolera omogućava izbor između dve vrste gasa: kiseonik ili vazduh
- održava protok gasa u granicama od $\pm 10\%$ od zadatih vrednosti (2,5ml/min za vazduh i 16,7ml/min za kiseonik)
- kontinualno meri vrednost protok gasa
- na zahtev od bežičnog kontrolera šalje mu rezultate merenja protoka gasa 4 puta u sekundi
- na zahtev do 6 bežičnih korisnika šalje im rezultate merenja protoka gasa do 4 puta u sekundi

2. Opis realizovanog uređaja

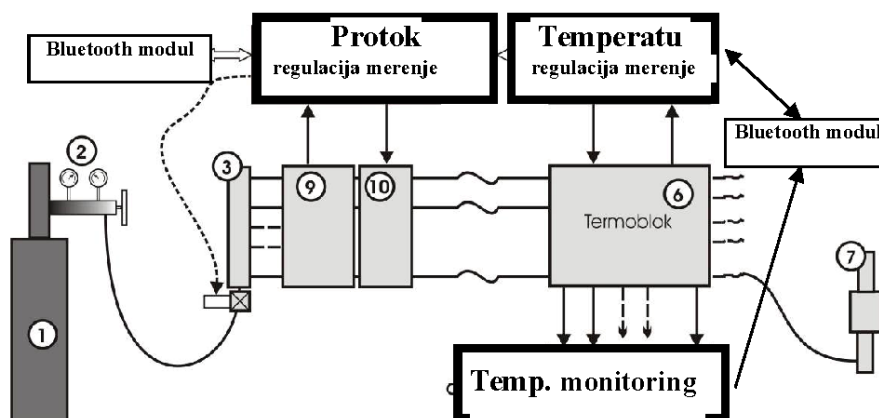
Na Slici 1 je dat blok dijagram starog sistema za merenje i regulaciju protoka gasa kroz kivete sa uzorcima ulja. Ukupno se ispituje 12 uzoraka ulja što znači da postoji 12 nezavisnih merno-regulacionih kanala



Slika 1. Blok dijagram starog sistema za merenje i regulaciju protoka gasa

Na čeličnoj boci sa suvim vazduhom (1) je primarna regulacija protoka gasa na redukcionom ventilu (2) odakle se gas provodi prema razvodniku gasa (3). Sekundarna regulacija protoka se vrši takođe ručno na igličastom ventilu (4) koji se nalazi iza razdelnika gasa. Primarno merenje kontinualnog protoka gasa je na mehaničkom protokomeru firme Aalborg (5) pre kiveta sa uzorcima ulja u termobloku (6). Merenje protoka na izlazu iz sistema se vrši sa protomerom sa sapunicom firme Hewlett - Packard koja radi na bazi apsolutnog merenja ($Q=V_{\text{ukupno}}/t_{\text{ukupno}}$) (7).

Na Slici 2 je dat blok dijagram razvijenog novog sistema za merenje i regulaciju protoka gasa kroz kivete sa uzorcima ulja.



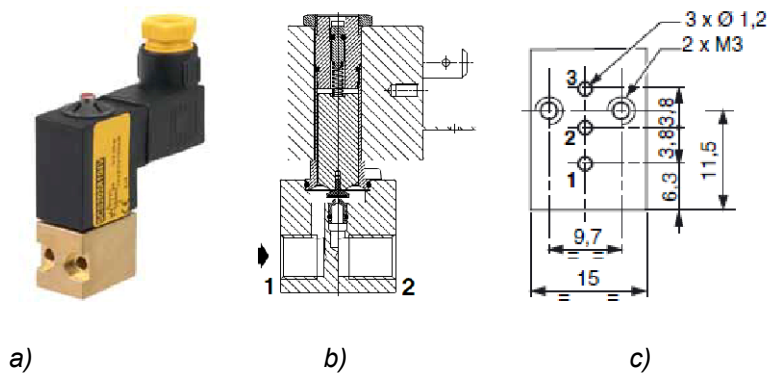
Slika 2. Blok dijagram novog sistema za merenje i regulaciju protoka gasa

Može se uočiti da su blokovi 4 (igličasti ventil) i 5 (mehanički protokomer) zamenjeni blokovima 9 (proporcionalni solenoidalni ventili firme Pneutrol [4]) i 10 (kalometrijski senzori masenog gasnog protoka firme Honeywell [5]). U okviru bloka 10 osim senzora nalaze se i baloni od tvrde gume koji služe da amortizuju vazdušne udare koji se javljaju kao posledica kretanja gasa kroz

kivetu sa uljem u obliku mehurića. Ovakav impulsni režim protoka gasa negativno utiče na merač protoka Honeywell i mora se amortizovati korišćenjem odgovarajućeg rezervoara gasa. U ovom slučaju se koristi balon od tvrde gume vezan redno između senzora protoka i kivete sa transformatorskim uljem.

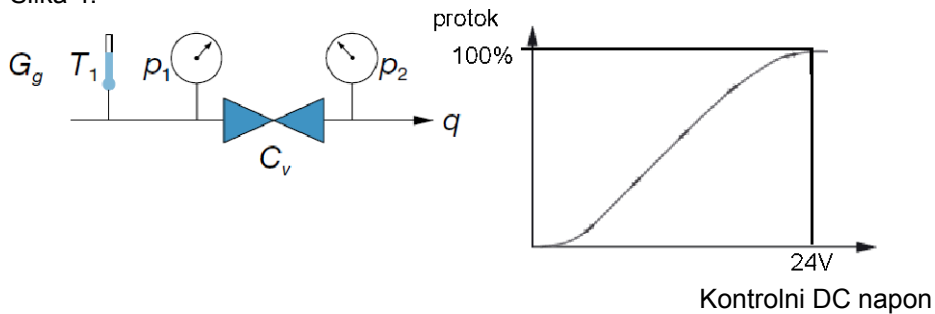
2.1. Proporcionalni ventil za protok gasa

Za podešavanje protoka gasa korišćen je električni solenoidni proporcionalni ventil tipa ASCO SCS202A505 12V, Slika 3.



Slika 3. Proporcionalni solenoidni ventil SCS202A505 12V. a) fizički izgled, b) uzdužni presek, c) površina koja se vezuje za mesingani blok

Ventil radi na principu promene igličasto membranskog otvora na ventilu, Slika 4.



Slika 4. Glavni parametri za kontrolu protoka proporcionalnim ventilom; a) skica funkcionisanja ventila, b) prenosna karakteristika ventila.

Nije moguće postaviti apsolutnu prenosnu karakteristiku ventila, zato što ona zavisi od jako puno parametara. Za konkretne uslove protoka određenog gasa prenosna kriva se može dobiti eksperimentalnim normiranjem (baždarenjem).

Dizajn ventila se zasniva na određenim proračunima protoka gasa. Proračuni protoka su složeni jer su gasovi stišljivi fluidi čija se gustina menja

sa pritiskom i temperaturom. U ovom konkretnom slučaju proračun se može pojednostaviti jer imamo uslove vrlo malih zapreminskih protoka gasa (q) i vrlo malih padova pritiska na ventilu $\Delta p = p_1 - p_2$ ($p_2 > 0.5p_1$) gde je p_2 – izlazni pritisak a p_1 - ulazni pritisak, Slika 4. Tada je relacija za zapreminski protok:

$$q = N_2 \cdot C_v \cdot p_1 \left(1 - \frac{2\Delta p}{3p_1} \right) \sqrt{\frac{\Delta p}{p_1 G_g T_1}} \quad (1)$$

U jednačini (1) q je zapreminski protok gasa; N_2 je određena konstanta proporcionalnosti (daje se tabelarno za određene uslove); G_g je relativna gustina gasa (za vazduh je 1 za date uslove); T_1 je ulazna temperatura gasa. C_v je konstanta protoka koja se može eksperimentalno odrediti ili izračunati prema jednačini:

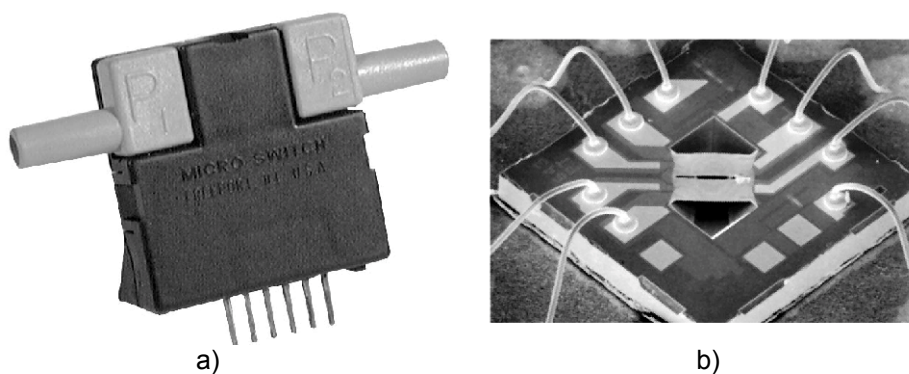
$$C_v = 1.16 \cdot q \sqrt{\frac{G_g}{\Delta p}} \quad (2)$$

Za određene uslove ona može biti data tabelarno ili grafički.

2.2. Senzor za merenje masenog protoka gasa

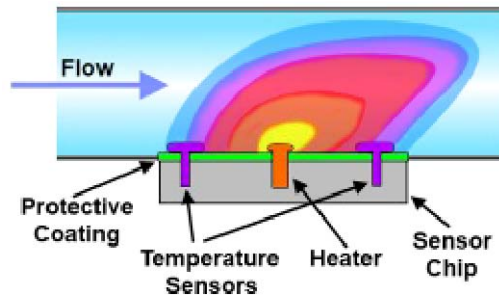
Za potrebe merenja protoka gasa koristi se Honeywell AWM42150VH senzor namenjen za montažu na metalni blok, Slika 5a) Senzor ima jedinstveni čip zasnovan na naprednoj tehnologiji MEMS, u formi mikromosta, Slika 5b)

Senzor je realizovan na principu merenja masenog protoka gasa uz korišćenje teorije prenosa toplote. Merena struja gasa se usmerava preko površina senzorskih elemenata. Izlazni napon se menja u srazmerno protekloj masi gasa. Tanki sloj osnove čipa, termički izolovan i vrlo male termičke inercije, sadrži centralni grejač i temperaturne senzorske elemente oko njega. Veza mernih senzora u mostnoj konfiguraciji obezbeđuje osetljiv i brz odziv na promenu protoka gasa preko čipa.



Slika 5. Senzor Honeywell AWM42150VH; a) fizički izgled, b) fotografija mikromosta senzora.

Kada nema protoka gasa kroz senzor, profil temperaturnog polja je simetričan i oba termometra pokazuju ravnotežnu temperaturu (T_0), Slika 6. Kada se pojavi protok gasa u pokazanom smeru, Slika 6, tada se dobija nesimetričan profil temperaturnog polja i pri tome će „dalji“ termometar pokazivati veću temperaturu (T_2) a „bliži“ termometar će pokazivati manju temperaturu (T_1) gledano u odnosu na neku ravnotežnu temperaturu (T_0).



Slika 6. Profil temperaturnog polja senzora masenog protoka gasa.

Ako se senzor koristi u linearnoj oblasti prenosne karakteristike tada za maseni protok gasa kroz senzor važi relacija:

$$\dot{m} = \frac{c_1}{C_p} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

gde su C_p specifična toplota gasa pri konstantnom pritisku, c_1 konstanta ili funkcija proporcionalnosti koja zavisi od uslova protoka i vrste gasa, T_2 – temperatura toplijeg i T_1 – temperatura hladnijeg termometra u čipu. Ako se senzor koristi za protoke više različitih gasova onda se baždarenje vrši posebno za svaki gas tako da važi uslov:

$$\frac{\dot{m}_1 C_{p1}}{\dot{m}_2 C_{p2}} = 1 \quad (4)$$

Tada je za svaki pojedinačni gas moguće uvesti korektivne koeficijente koji se softverski računavaju.

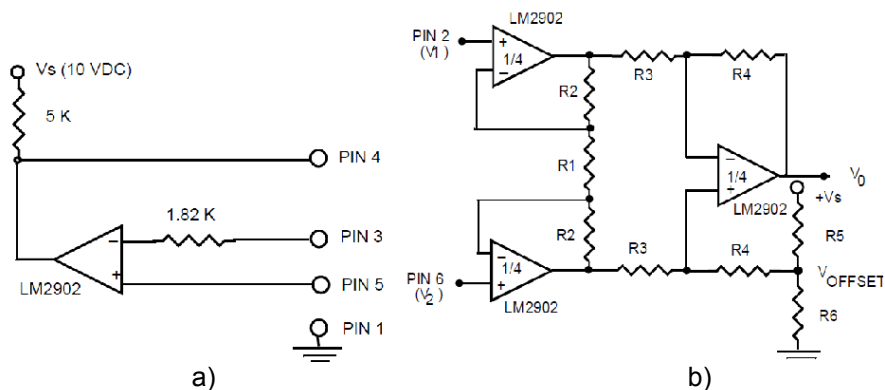
Elektronsko kolo grejača senzora, Slika 7a) obezbeđuje njegovo grejanje na temperaturi od 160°C iznad temperature gasa na ulazu u senzor. Time kolo smanjuje uticaj temperature okoline na temperaturu gasa koji protiče. Temperatura se meri termo-otpornim elementom koji se nalazi na čipu.

Na izlaz sa mernog mosta senzora stavlja se diferencijalni instrumentacioni pojačavač, Slika 7b). Izlaz pojačavača je prema relaciji:

$$V_0 = \frac{2R_2 + R_1}{R_1} \frac{R_4}{R_3} (V_2 - V_1) + V_{offset} \quad (5)$$

gde je napon offseta:

$$V_{offset} = V_s \frac{R_6}{R_6 + R_5} \quad (6)$$



Slika 7. a) Elektronsko kolo za kontrolu grejača senzora koji se nalazi u čipu, izvor napajanja se dovodi spolja b) Diferencijalni instrumentacioni pojačavač

2.3. Eksperimentalno ispitivanje senzora Honeywell serije 40000

Kataloška vrednost izlaznog napona sa mosta senzora odnosno numeričke vrednosti prenosne karakteristike za senzor AWM42159VH su date u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristične numeričke vrednosti prenosne karakteristike za senzor AWM42159VH (± 25 sccm/ ± 0.008)

ΔP μbar	Q sccm	U_{iz} mV	ΔU_{iz} +/-mV
20	30	9,9	1,5
17	25	8,5	1,5
14	20	6,8	1,5
10	15	5,2	1,0
7	10	3,5	1,0
3	5	1,7	1,0
0	0	0,0	1,0

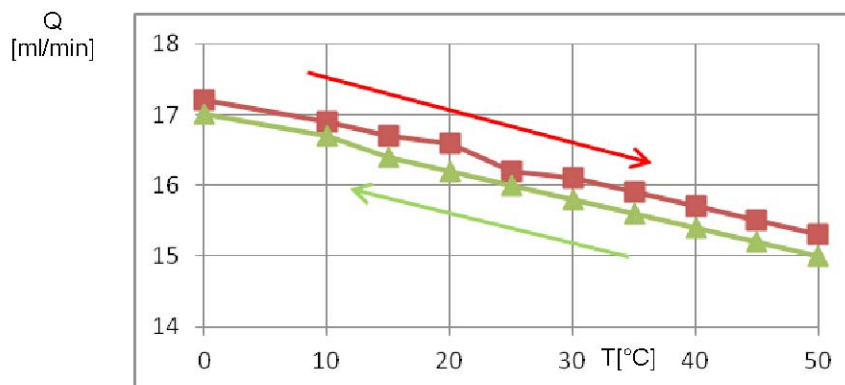
Međutim za konkretnu konfiguraciju senzor-pojačavač neophodno je izvršiti ispitivanje i kalibrisanje prenosne karakteristike. Pri tome su ispitivana ponovljivost rezultata u vremenu i u smislu postepenog povećanja protoka odnosno njegovog postepenog smanjenja (sa istim ambijentalnim uslovima) i iste te karakteristike pri promenljivim ambijentalnim uslovima (termostatirana ispitna komora).

Rezultati ispitivanja u termostatiranoj komori prikazani su u Tabeli 2. Temperatura je menjana za po 5 stepeni prilikom podizanja i prilikom spuštanja, smerovi su obeleženi strelicama. Prema kolonama A i B Tabele 2 i Slike 8 može se zapaziti da je pokazivanje senzora manje u slučaju spuštanja temperature a veće pri podizanju temperature. Iz kolone C se može videti da

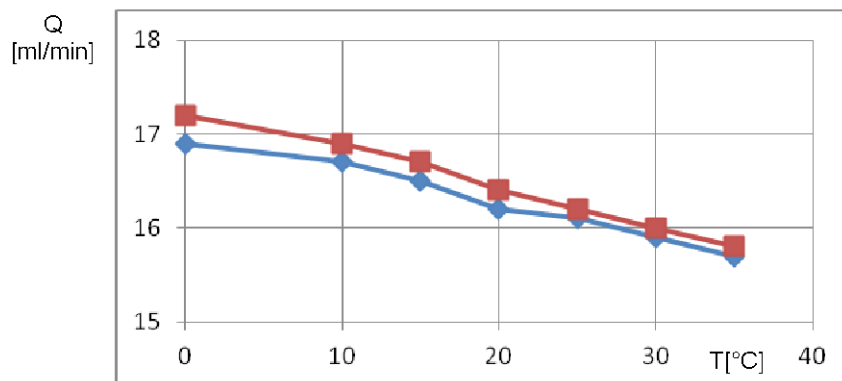
je drift protoka najveći na sobnoj temperaturi i manji je od 2,5%. Iz kolona D i E Tabele 2 i Slike 9 se može videti da postoji drift protoka tokom vremena i da je najveći oko 0°C (kolona F) i manji je od 2%.

Tabela 2. Driftovi protoka u odnosu na smer promene temperature i u vremenu

ϑ [°C]	Q [ml/min]		$\Delta Q/Q$ %	protok [ml/min]		$\Delta Q/Q$ %
	A	B		D	E	
0	17,2	17	1,16	16,9	17,2	1,78
10	16,9	16,7	1,18	16,7	16,9	1,20
15	16,7	16,4	1,80	16,5	16,7	1,21
20	16,6	16,2	2,41	16,2	16,4	1,23
25	16,2	16,0	1,23	16,1	16,2	0,62
30	16,1	15,8	1,86	15,9	16,0	0,63
35	15,9	15,6	1,89	15,7	15,8	0,64
40	15,7	15,4	1,91			
45	15,5	15,2	1,94			
50	15,3	15,0	1,16			
	22.01.2014			23.01.2014	24.01.2014	



Slika 8. Drift pokazivanja senzora protoka u odnosu na pravac podizanja ili smanjivanja temperature okoline (termostatirana ispitna komora).

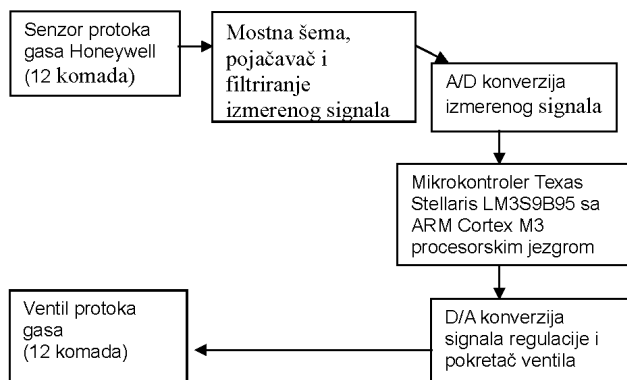


Slika 9. Drift pokazivanja senzora protoka tokom vremenskog perioda od 72h (termostatirana ispitna komora).

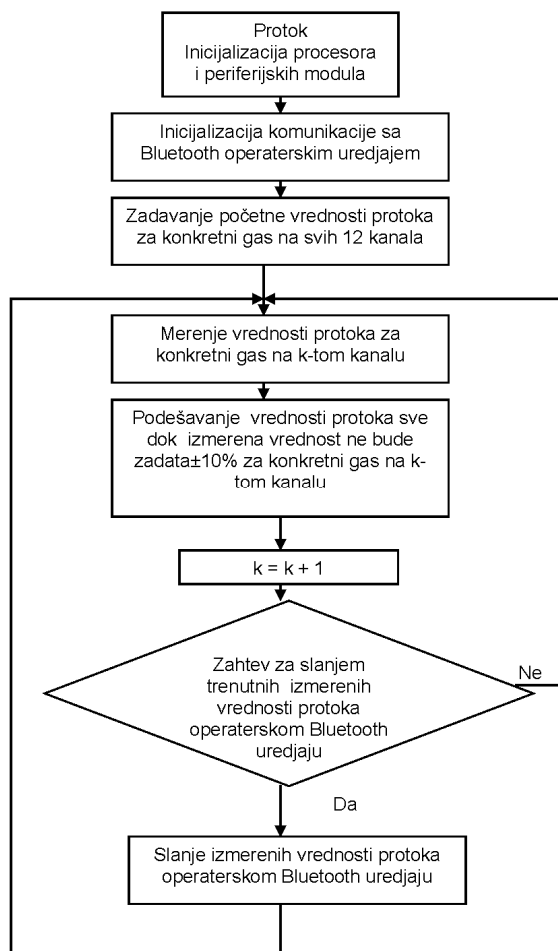
2.4. Blok “Protok regulacija i merenje”

Na Slici 10 je prikazan detaljniji dijagram bloka “Protok regulacija i merenje” sa strelicama koje prikazuju tok električnih signala dok je tok gasa od ventila ka senzoru. Senzor Honeywell AWM42150VH meri protok gasa u opsegu ± 25 ml/min i radi na principu transfera toplote, odnosno pripada klasi kalorimetrijskih senzora masenog protoka gasa. S obzirom na 12 paralelnih ispitnih kanala i broj senzora je takođe 12. Električni signal sa senzora se nalazi u mosnoj mernoj šemi. Izlaz mosta se preko pojačavača i niskopropusnog filtra dovodi na 16 bitni, 200k/sec AD konvertor AD974 firme Analog Devices [6] odakle se na dalju digitalnu obradu prosleđuje mikrokontroleru Texas Stellaris LM3S9B95 sa ARM Cortex M3 procesorskim jezgrom [7] koji je programiran softverskom aplikacijom napisanom u C programskom jeziku. Blok dijagram aplikacije je prikazan na Slici 11. Pošto je protok gasa fiksno i zavisi samo od vrste gasa (2,5ml/min za vazduh i 16,7ml/min za kiseonik) uobičajeno bi bilo da je kontrolni signal za isti gas iz mikrokontrolera uvek isti (forward control). Nažalost zbog temperaturnog drifta ofseta senzora protoka, algoritam upravljanja ventilom je malo komplikovaniji i tipa je “feedback control”. Mikrokontroler zadaje početnu vrednost za protok za zadatu vrstu gasa na 16-bitni DA konvertor AD7846 firme Analog Devices [8] čiji analogni izlazni signal se preko pokretača ventila dovodi na proporcionalni solenoidalni ventil SCS202A505 12VDC, firme Pneutrol International Limited. Nakon toga se meri ostvarena vrednost protoka gasa i vrši odgovarajuća korekcija sve dok se posle nekoliko iteracija ne dođe do vrednosti protoka gasa definisanim odgovarajućim IEC standardom. Nakon perioda konvergencije sistem prelazi u režim održavanja vrednosti protoka gasa na zadatom nivou.

Zadavanje vrste gasa a samim tim i nivoa potrebnog protoka, kao i očitavanje izmerenih vrednosti protoka gasa se vrši bežično korišćenjem RS232/Bluetooth adaptera.



Slika 10. Dijagram bloka "Protok regulacija i merenje"



Slika 11. Blok dijagram C softverske aplikacije u mikrokontroleru

3. Bluetooth komunikacija

Bluetooth [9,10] bežična tehnologija je standard za jeftinu radio komunikaciju, koristeći radio prenos u Industrial, Scientific and Medical (ISM) opsegu od 2400MHz – 2480MHz. Ključne osobine Bluetooth-a su robustnost, mala potrošnja i niska cena. Bluetooth je komercijalni bežični protokol koji se sve više koristi i u industriji, a njegova mrežna topologija trenutno tako organizovana da je u okviru bežične mreže moguće istovremeno organizovati do 7 simultanih komunikacija sa pojedinim sensorima ili sa uređajima koji podržavaju Bluetooth tehnologiju a koji služe za zadavanje vrste gasa (operatorski uređaj), odnosno za očitavanje izmerenih vrednosti protoka gasa. Kao operatorski uređaj iskorišćen je portabilni uređaj smartphone koji se oslanja na interni Bluetooth modul i na Android platformu [11]. Razvoj softvera za Android uređaj se zasniva na Java programskom jeziku i korišćenju potrebnih besplatnih (open-source) softverskih alata kao što su: Android Software Development Kit (SDK) Tools, Eclipse integrated development environment for Java and Android Development Tools (the Eclipse Plugin). Android platforma omogućava korišćenje Bluetooth aplikacionog programskog interfejsa (Bluetooth API), kojim se realizuje komunikacija između uređaja koji podržavaju Bluetooth protokol. Realizovanje komunikacije između uređaja se sastoji iz četiri koraka: setovanja Bluetooth uređaja, pretraživanja mreže za potencijalne uređaje za uparivanje ili već uparene uređaje, povezivanja uređaja i razmene podataka između njih [12].

Prilikom pokretanja aplikacije formira se sistemska poruka (Intent):

```
“Intent enBtIntent;”
```

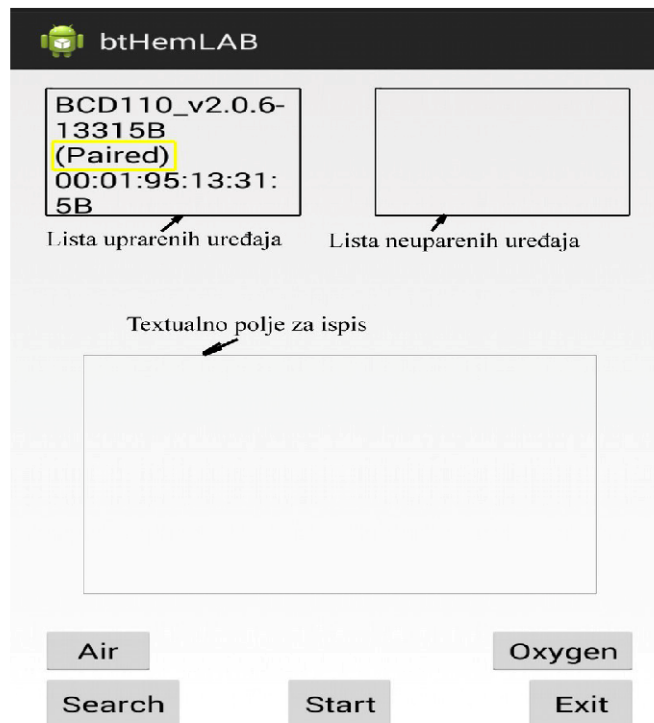
```
“enBtIntent = newIntent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);”
```

Zatim se startuje metoda “startActivityForResult(enBtIntent, 0);”, aplikacije koja otvara početni prozor u pozadini ekrana sa pop-up prozorom u prvom planu sa zahtevom da se upali bluetooth adapter i uz pomoć dva dugmeta “No” i “Yes” pita se korisnik šta želi da uradi (metoda “start Activity For Result”), prozor će ostati aktivan sve dok korisnik ne pritisne jedno od dva dugmeta. Ukoliko je odabrano dugme “No” aplikacija će se automatski isključiti uz ispis na ekranu (Toast View) “Da bi nastavili bluetooth mora biti upaljen”, ukoliko je korisnik odabrao dugme “Yes” otpočinje metoda “setContentview” koja će setovati početni prozor ekrana kao što je prikazano na Slici 12.

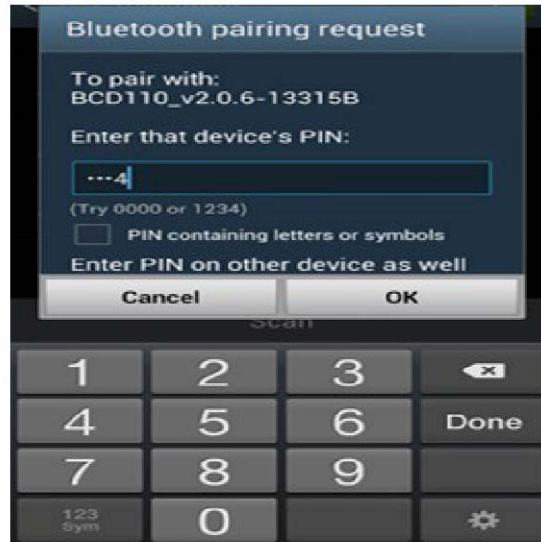
Svako dugme je setovano da čeka event uz pomoć metode “set On Click Listener” koji će se desiti prilikom klika. Klikom na dugme “Search” pretražuju se svi lokalni upaljeni Bluetooth uređaji i pored liste uparenih pokreće se lista neuparenih uređaja Slika 12, zatim se vrši Toast ispis za svaki od pronađenih uređaja s tim da će za uparene ispod imena adaptera stajati “Paired”.

Lista uparenih i neuparenih uređaja od samog pokretanja aplikacije je aktivna pod metodom “setOnItemClickListener”, tako da prilikom svakog klika na bilo koju kolonu iz listi poziva se metoda “getId()” da bi se znalo da li se klik desio na listi uparenih ili neuparenih uređaja, zatim se unutar petlje poziva

metoda "getItem(position)" da bi saznali o kojoj koloni sa liste se tačno radi to jest o kom tačno uređaju se radi kako bi mu odobrili ili ne početak uparivanja. U slučaju da se MAC adresa nalazi na white listi, prilikom klika na listu uparenih uređaja se vrši automatsko uparivanje, a prilikom klika na listu neuparenih uređaja pojavljuje se pop-up prozor kao na Slici 13 i ulazi se u proveru pin koda. Nakon konektovanja sa uređajem će se pojaviti Toast prozor sa ispisom "Povezan sa: imeUređaja", a sam uređaj će biti obrisao sa liste neuparenih uređaja i biti smešten u listu uparenih uređaja. Ukoliko uređaj nije u dometu ili se pokuša konekcija sa nekim uređajem koji se nalazi na listi uparenih uređaja automatski će se izvršiti Toast ispis "Neuspela konekcija sa uređajem".



Slika 12. Izgled operaterskog panela na smartphone uređaju



Slika 13. Primer unosa pin koda prilikom uparivanja sa uređajem

U slučaju uspešnog povezivanja sa uređajem prilikom klika na dugme “Air” u bafer za slanje se unosi string koji odgovara vazduhu, dok se pritiskom na dugme “Oxygen” menja sastav bafera odgovarajućim stringom koji odgovara kiseoniku. Prilikom klika na dugme “Start” se vrši periodično ponavljanje dela koda koji na svakih 0,25 sec (metodom “postDelayed”) šalje sadržaj bafera preko Bluetooth veze ka Bluetooth modulu, koji primljeni string smešta u primljeni bafer i prosleđuje ga mikrokontroleru preko serijske RS232 veze.

Primljeni bafer se unutar mikrokontrolera u C programskom jeziku iščita i u zavisnosti od sadržaja primljenog bafera mikrokontroler u bloku “Protok regulacija i merenje” na osnovu informacije o vrsti gasa koji se propušta kroz kivete sa uljem vrši regulaciju protoka gasa. Zatim iščitane obrađene podatke o protoku preko RS232 prosleđuje Bluetooth modulu koji ih smešta u svoj bafer za slanje i prosleđuje ih uređaju sa kojim je povezan (Android aplikaciji). Primljeni podaci o vrednostima protoka gasa za svih 12 kanala se ispisuju unutar aplikacije u polju “Tekstualno polje za ispis”, Slika 12.

4. Ispitivanje realizovanog sistema

U cilju dobijanja procene o realnim performansama realizovanog sistema za merenje i regulaciju protoka gasa kroz kivete sa uljem u realnim uslovima eksploatacije, obavljena su ispitivanja u Hemijskoj laboratoriji Centra za elektro-merenja, Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla”

Ispitivanja su obavljena na Termobloku sa mernom postavkom koja odgovara radu sistema pri ispitivanjima oksidacione stabilnosti ulja po odgovarajućem IEC standardu:

- 1) Boca sa industrijskim vazduhom
- 2) Razvijeni merno-regulacioni sistem gde industrijski vazduh iz boce prvo ulazi u proporcionalni ventil firme Pneutrol i zatim u senzor masenog protoka gasa firme Honeywell
- 3) Balon od tvrde gume koji služi da amortizuje vazdušne udare koji se javljaju kao posledica kretanja gasa kroz kivetu u obliku mehurića (bubbles). Ovakav impulsni režim protoka gasa utiče negativno na merač protoka Honeywell i mora se amortizovati korišćenjem odgovarajućeg rezervoara gasa. U posmatranom slučaju to je bio balon od tvrde gume vezan redno između senzora protoka i kivete sa transformatorskim uljem.
- 4) Upotrebljena je kiveta sa transformatorskim uljem na 120°C kao realno opterećenje
- 5) Bubble soap meter kao referentni merač protoka gasa.

Ispitivanje protoka gasa sa izvršena sa podešenim parametrima u algoritmu za regulaciju protoka gasa je izvršeno korišćenjem merne postavke prikazane na Slici 14 i to za obe vrednosti traženog protoka: 2,5ml/min (vazduh) 16,7ml/min (kiseonik)



Slika 14. Merna postavka za ispitivanje sistema za merenje i regulaciju protoka gasa

Nakon izvršenih eksperimenata dobijeni su sledeći konačni rezultati merenja prikazani u Tabeli 3 za 2,5ml/min i Tabeli 4 za 16,7ml/min:

Tabela 3 Rezultati merenja za 2,5ml/min

Vrednost po IEC standardu [mLit/min]	Bubble soap meter izmerena vrednost [mLit/min]
2.5	2.45
2.5	2.49
2.5	2.57
2.5	2.48
Srednja vrednost merenja	2.4975
Odstupanje srednje izmerene od standardne vrednosti	-0.1%

Tabela 4 Rezultati merenja za 16,7ml/min

Vrednost po IEC standardu [mLit/min]	Bubble soap meter izmerena vrednost [mLit/min]
16.7	16.7
16.7	16.94
16.7	16.93
16.7	16.58
Srednja vrednost merenja	16.7875
Odstupanje srednje izmerene od standardne vrednosti	0.524%

U Tabelama 3 i 4 u svakom od 4 reda u kojem su dati rezultati merenja prikazane vrednosti predstavljaju usrednjene vrednosti dobijene za vremenski interval od 5min. S obzirom da operatorski Bluetooth uređaj smartphone upućuje zahtev sistemu za merenje i regulaciju protoka gasa svakih 0.25sec prikazane vrednosti u Tabelama 3 i 4 predstavljaju srednju vrednost od 1200 pojedinačnih merenja. Takođe se vidi u Tabelama 3 i 4 da su odstupanja srednjih izmerenih vrednosti od vrednosti protoka gasa definisanih odgovarajućim IEC standardima mnogo manja od standardom dozvoljenih $\pm 10\%$ od nominalnih vrednosti od 2,5 ml/min za vazduh i 16,7 ml/min za kiseonik.

5. Zaključak

U radu je opisan sistem za automatsku regulaciju protoka gasa koji je deo uređaja za ispitivanje oksidacione stabilnosti transformatorskih ulja „Termoblok“. U okviru Termoblok-a, sistem radi u tandemu sa automatskim regulatorom temperature, i vrši kontinualno merenje, automatsku regulaciju protoka gasa kroz kivete sa uzorcima ulja, funkcije udaljenog bežičnog zadavanja i očitavanja vrednosti protoka.

Ispitivanja su pokazala da realizovani sistem obezbeđuje sledeće funkcije:

- izbor vrste gasa na zahtev od bežičnog kontrolera,

- na osnovu kontinualnih merenja, automatski održava protok gasa u granicama od 0.1% od standardne vrednosti 2,5ml/min za vazduh i 0.5% od standardne vrednosti od 16,7ml/min za kiseonik što je mnogo bolje od IEC standardom propisanih $\pm 10\%$ za oba gasa
- slanje rezultata merenja bežičnom kontroleru i korisnicima na zahtev 4 puta u sekundi.

Izvesno je da realizovani sistem ispunjava zadate tehničke zahteve i predstavlja realnu osnovu za razvoj prototipa uređaja koji objedinjuje zahteve automatske regulacije temperature uzoraka ulja i automatske regulacije protoka gasa kroz kivete sa uljem.

Literatura

- [1] Unused Hydrocarbon-based insulating liquids- Test methods for Evaluating the Oxidation Stability Amendment 1, *International Standard IEC 61125*, 2004-04.
- [2] Jelena Lukic, „Oxidation Phenomena and Role of Oil Inhibitors“, *IEEE Power Engineering Society Proceedings*, Torino Dec. 2008.
- [3] Aleksandar Zigic, Sasa Milic, Aleksandar Nikolic, „Performing Temperature Regulation and Monitoring in an Oil Aging Test System“, *5th WSEAS International Conference on Manufacturing Engineering, Quality And Production Systems (MEQAPS '12)*, Vienna Nov. 10-12, 2012.
- [4] ASCO, SCS202A505 12V Proportional Soleoid Valve Preciflow Datasheet, Pneutrol International Ltd., 2012.
- [5] AWM42150VH Datasheet, Honeywell Inc. 2006.
- [6] AD974, 4-Channel, 16-bit, 200kSPS Data Acquisition System Datasheet, Analog Devices Inc., 1999
- [7] Stellaris LM3S9B95 Microcontroller Datasheet Texas Instruments Inc. 2014.
- [8] AD7846, LC2MOS, 16-bit Voltage Output DAC, Analog Devices Inc., 2010.
- [9] ZHU Da-rong, ZHU Wei-guo, ZHANG Ke-ren, WANG Ya, WANG Ping, “Wireless communication of construction machinery signal based on the Bluetooth technique”, *3rd International Conference on Computer and Electrical Engineering (ICCEE 2010)*, 2010.
- [10] Wenqi Guo, William M. Healy, MengChu Zhou “Impacts of 2.4-GHz ISM band interference on IEEE 802.15.4 wireless sensor network reliability in buildings”, *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on* (Volume:61, Issue: 9)
- [11] Yu Sui and Tao Li, “A wireless-enabled sensor system for distributed radiation detection on Android cellphones”, *Sensors*, 2013 IEEE.
- [12] Huiliang Shang*, Qi Zhang, Mimin Jin, Wenxin Wang, Jiajun Zhu, Qingsheng Kong, “A portable pulse signal acquiring and monitoring

Abstract: This paper describes a system within an oil aging test device that serves for measurement and automatic regulation of gas flow. Following an already realized system that continuously monitors, logs, and regulates transformer oil temperature during the aging process and maintains temperature consistency within strict limits, a model of a flow meter and regulator of air or oxygen through transformer oil samples is developed. A special feature of the implemented system is the measurement of very small gas flows. A short technical description of the realized system is given with a functional block diagram. The basic technical characteristics of the system are specified, and the operating principles and application of the system are described. The paper also gives performance test results in a real exploitation environment.

Keywords: flow measurement, gas flow, automatic regulation, oxidation stability, transformer oil

System for Measurement and Automatic Regulation of Gas Flow within an Oil Aging Test Device

Rad primljen u uredništvo 12.09.2014. godine
Rad prihvaćen 10.10.2014. godine

