

Dijagnostikovanje početnog kvara energetskog transformatora bazirano na DGA (analiza rastvorenih gasova u ulju)

Miljan Šinik, Neda Kubatlija, Milorad Mitrović, Aleksandar Šojić
studenti drugog ciklusa studija
Elektrotehnički fakultet
Istočno Sarajevo, Republika Srpska, BiH
msinik@elektrohercegovina.com
neda.kubatlija@hotmail.com
mitamitrovic@gmail.com
asojic@het.ba

Sadržaj—U ovom radu će biti razmatran razvoj tehnika baziranih na DGA za dijagnostikovanje početnog kvara energetskog transformatora. Prvo će se pregledati studije o mehanizmima dekompozicije celuloze i ulja, i otkrivanje termodinamičkog odnosa ravnoteže između temperature kvara i stope proizvodnje gasa. Zatim će se predstaviti konvencionalne DGA metode, uključujući odnos i metode ključnog gasa, i industrijska iskustva sa dijagnostikovanjem početnog kvara baziranom na DGA.

Ključne riječi - energetski transformator; dijagnostikovanje kvara; gasna hromatografija

I. UVOD

Jedan od glavnih ciljeva svake elektroprivredne kompanije je kvalitetno održavanje elektroenergetskih vodova i postrojenja uz niske troškove. Održavanje se sprovodi u cilju obezbjeđenja funkcionalne ispravnosti elementa i nakon ispada elementa iz pogona, radi otklanjanja kvara. Veliki korisnici održavanje sprovode na osnovu važnosti i uloge postrojenja u mreži. Ovaj koncept uzima u obzir pokazatelje pouzdanosti elemenata posmatranog postrojenja, posljedice njegovog ispada bez održavanja i troškove održavanja kao i njegove efekte na pokazatelje pouzdanosti. Pored ovoga, održavanje se još sprovodi na osnovu stanja elemenata postrojenja. Stanje predstavlja kvalitativnu procjenu sposobnosti elemenata da obavljaju predviđenu funkciju. Za svaki element su ustanovljeni parametri čije vrijednosti određuju njegovo stanje. Ako se vrijednost svakog od tih parametara nalazi unutar definisanog opsega element se smatra ispravnim. Upoređivanjem izmjerenih vrijednosti pojedinih parametara sa referentnim vrijednostima (dijagnostikovanje) utvrđuje se da li je element ispravan ili ne i o kojoj vrsti kvara se radi. Održavanje na osnovu stanja je veoma efikasno, i tehnički i ekonomski. Vrijednosti svih

važnih parametara se mogu pratiti stalno (kontinualni monitoring) ili povremeno.

Kao što je poznato, transformatori su veoma bitni u električnim sistemima i veoma je skupo mijenjati ih. Stoga, da bi se produžio život ostarjelih transformatora, kontrola njihovog stanja je obavezna. Slabljenje izolacije transformatora može da se riješi zamjenom stare izolacije novim materijalima ili sprovođenjem kontrole njenog stanja. Sprovođenje kontrole rada transformatora spada u metode upravljanja dobrima koje se koriste duži niz godina. Starost transformatora, kao i količina vlage prisutne u njegovoj izolaciji, utiće i na električne i na hemijske osobine izolacije. Stoga, za analizu stanja izolacije transformatora mogu da se koriste električne i hemijske dijagnostičke metode[1].

II. DIJAGNOSTIFIKOVANJE POČETNOG KVARA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA BAZIRANO NA DGA

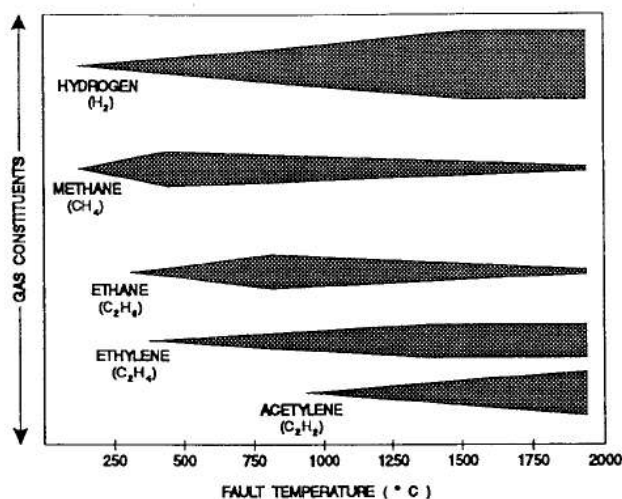
A. Proučavanje gasnih karakteristika za pokvarene transformatore

Proučavanje ponašanja gasnih karakteristika papira/ulja iz termičkog ili električnog napreznja može se pratiti nazad do 1930-tih. Halsted[2] je napravio proboj u tom polju. Nakon toga su nastavljene slične studije, naročito u vezi degradacije papira.

Prije Halsteda, bilo je shvaćeno da se pod termičkim i električnim napreznjima molekuli ugljovodonika mineralnog ulja mogu raspasti i obrazovati aktivni vodonik i fragmente ugljovodonika, i da ti fragmenti mogu da se sjedine jedni sa drugima i obrazuju gasove poput vodnika (H_2), metana (CH_4),

etana (C_2H_6), etilena (C_2H_4), acetilena (C_2H_2), itd. Takođe je otkriveno da količina svakog pojedinačnog gasa zavisi od temperature u okolini napregnute tačke.

Halsted je predložio termodinamički model za opisivanje odnosa između temperature kvara i stope proizvodnje gasa, koji pretpostavlja da su svi ugljovodonici u ulju rastvoreni u istom proizvodu i da je svaki proizvod u ravnoteži sa svim ostalim. Prema tom modelu, stopa razvijanja svakog gasa se može izračunati pri bilo kojoj temperaturi, tako da se odnos između proizvodnje gasa i temperature može dobiti za svaki gas. Slika 1 prikazuje ove odnose[8]. Proučavanje ovih odnosa otkriva da su gasovi proizvedeni prema sledećem redosledju sa povećanjem temperature: $H_2 \rightarrow CH_4 \rightarrow C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 \rightarrow C_2H_2$. Vodonik je nastao pri niskoj temperaturi i njegova količina se stabilno povećava, dok aceten nastaje pri veoma visokoj temperaturi (blizu $1000^\circ C$) i takođe se stabilno povećava njegova količina. Degradacija čvrste izolacije transformatora je prikladno dijagnostikovana prema količini i odnosu rastvorenog ugljen-monoksida (CO) i ugljen-dioksida (CO_2). Njihova količina se drastično povećava iznad praga temperature od oko $140^\circ C$ - $150^\circ C$. Međutim, ovo otkriće nije dovoljno da se postavi definitivna tehnika za dijagnozu, zato što CO i CO_2 mogu biti prisutni u transformatoru jednostavno kao rezultat dugotrajne oksidacije ulja pri niskoj temperaturi. Istraživači su otkrili da CO i CO_2 mogu biti apsorbovani u papirnoj izolaciji nakon što su proizvedeni, što dovodi do fluktuacije izmjenjenih koncentracija.



Slika 1. Gasovi proizvedeni tokom pregrijavanja dielektričnog ulja

B. Početni kvarovi transformatora

Početni kvarovi energetskih transformatora mogu se klasifikovati u sledeće glavne kategorije: električno varničenje, električna korona, pregrijavanje celuloze, pregrijavanje ulja. Ovi kvarovi mogu nastati usljed jednog ili više uzroka prikazanih na tabeli I.

Tabela I KORELACIJA IZMEĐU POČETNIH KVAROVA I UZROKA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Uzroci	Kvarovi			
	Varničenje	Korona	Pregrijavanje celuloze	Pregrijavanje ulja
Kratki spoj namotaja	X		X	
Otvoreno kolo namotaja	X		X	
Rad ugrađenog LTC	X			
Poremećaj ili pomjeranje namotaja		X	X	
Poremećaj ili pomjeranje mjernog voda		X	X	
Labava konekcija sa krajevima izolacione cijevi, merni vod izvoda, table terminala	X	X	X	
Slobodna voda ili suvišna vlaga u ulju	X	X		
Plutajuće metalne čestice	X	X		
Labava konekcija sa štitom korone		X		
Labava ležišta, umeci, uzemljeni kaiševi jezgra, ugao držanja jezgra (spone)		X		
Prolazni kvar			X	
Preopterećenje			X	X
Oštećeni zavrtanj pričvrstnog stremena				X
Rda ili drugo oštećenje na jezgru				X
Oštećeni omoti skretnice tanka				X
Blokiran kružni put ulja				X
Kvar rashladnog sistema				X

Prema tabeli I, jedan tip kvara može imati više od jednog uzroka. To otežava lociranje kvara. Stoga se tekuća praksa često zaustavlja kod dijagnoze kvara i rijetko dostiže tačku lokacije kvara korišćenjem samo DGA[3].

I pored toga, dijagnoza kvara je dovoljno dobra da obezbijede informacije za program održavanja, i da posluži kao osnova za strategiju preventivnog održavanja. Za tu svrhu, DGA je bila ključni alat za dijagnozu početnog kvara energetskog transformatora. Ona obuhvata mnoge uspješne pristupe pod tri glavne kategorije: metodi odnosa, metod ključnog gasa, i metode bazirane na vještačkoj inteligenciji.

C. Proučavanje i aplikacija metoda odnosa

Metodi odnosa koriste odnose koncentracija rastvorenog gasa kao osnovu za dijagnostikovanje kvara. Istorijski, korišćeno je pet odnosa (navedenih u tabeli II).

Tabela II DEFINICIJA ODNOSA METODA ODNOSA

Odnos	CH_4/H_2	C_2H_2/C_2H_4	C_2H_2/CH_4	C_2H_6/C_2H_2	C_2H_4/C_2H_2
Skraćenica	R1	R2	R3	R4	R5

Prvi pokušaj je obavljen krajem 1960-tih pri *Central Electricity Generating Board* (CEGB). Godine 1970, Dornenburg[3] je mogao da napravi razliku između termičkog i električnog kvara korišćenjem četiri odnosa i šest gasova. Šest gasova su H_2 , CH_4 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 i C_2H_6 . Četiri odnosa i njihove dijagnostičke vrednosti su prikazane u tabeli III. Metod ima mnoge testove validacije pre dostizanja konačne

odluke i često to ne uspijeva da učini. Najvažniji test validacije je testiranje L1 norme (limita), koja postavlja kritični nivo za svaki gas. Kako bi se metod primjenio, barem jedan gas za svaki od odnosa mora da premaši odgovarajuću L1 normu. L1 norme za svaki gas su navedene u tabeli IV.

Tabela III DORNENBURGOV METOD ODNOSA

Kvar	R1	R2	R3	R4
Termička dekompozicija	>1.0	<0.75	<0.3	>0.4
Korona (PD niskog intenziteta)	<0.1	Beznačajno	<0.3	>0.4
Varničenje (PD viskog intenziteta)	>0.1 i <1.0	>0.75	>0.3	<0.4

Tabela IV DORNENBURGOV L1 LIMIT

Gas	H ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
L1 limit (ppm)	100	120	350	35	50	65

Sljedeći Halstedov termodinamički model, Rodžersova metoda [3] je prvi put predložena 1973. godine, prerađena 1975, i dalje rafinisana 1977. Uzimajući u obzir industrijska iskustva, laboratorijske testove, i dalju teoretsku procjenu, metod je dalje modifikovan u IEC standard.

Prvobitna Rodžersova metoda je upotrijebila tabelu V za dijagnozu, gdje 1 ukazuje na to da je stvarna vrijednost iznad 1.0, a 0, da je stvarna vrijednost ispod 1.0. Izmjenjena Rodžersova metoda je koristila dve tabele: jedna je definisala kod, a druga je definisala pravilo dijagnostikovanja, kako je prikazano na tabeli VI i tabeli VII. Ovi preliminarni metodi su koristili četiri odnosa. Odnos etan/metan (C₂H₆/CH₄) samo je ukazivao na ograničeni temperaturni raspon dekompozicije, ali nije pomogao u daljoj identifikaciji kvara. Stoga je u IEC standardu 599, dalji razvoj Rodžersove metode, on izbačen.

Tabela V PRVOBITNA TABELA DIJAGNOSTIKOVANJA RODŽERSOVOM METODOM

CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₆ /CH ₄	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	Dijagnoza
0	0	0	0	Ako je CH ₄ /H ₂ 0.1 ili tu negdje → djelimično pražnjenje, u suprotnom, normalno pogoršanje
1	0	0	0	Blago pregrijavanje – ispod 150°C
1	1	0	0	Blago pregrijavanje – 150-200°C
0	1	0	0	Blago pregrijavanje – 200-300°C
0	0	1	0	Opšte pregrijavanje provodnika
1	0	1	0	Cirkulišuće struje i/ili pregrijani spojevi
0	0	0	1	Preskakanje bez prolaza energije
0	1	0	1	Selektor regulatora napona pod opterećenjem koji prekida struju
0	0	1	1	Električni luk sa prolaznom energijom – ili upomo iskrešenje

Rodžersova metoda i IEC 599 je stekao popularnost u industrijskoj praksi. Međutim, u nekim slučajevima možda neće dati nikakav zaključak.

Tabela VI DEFINICIJA KODA IZMJENJENE RODŽERSOVE METODE

Odnos gasa	Raspon	Kod
CH ₄ /H ₂ (R1)	Ne veće od 0.1	5
	Između 0.1 i 1.0	0
	Između 1.0 i 3.0	1
C ₂ H ₆ /CH ₄ (R4)	Ne manje od 3.0	2
	Manje od 1.0	0
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆ (R5)	Ne manje od 1.0	1
	Manje od 1.0	0
	Između 1.0 i 3.0	1
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ (R2)	Ne manje od 3.0	2
	Manje od 0.5	0
	Između 0.5 i 3.0	1
	Ne manje od 3.0	2

Tabela VII DIJAGNOSTIKOVANJE IZMJENJENOM RODŽERSOVOM METODOM

R1	R4	R5	R2	Dijagnoza
0	0	0	0	Normalno pogoršanje
5	0	0	0	Djelimično pražnjenje
1 ili 2	0	0	0	Blago pregrijavanje – ispod 150°C
1 ili 2	1	0	0	Blago pregrijavanje – 150-200°C
0	1	0	0	Blago pregrijavanje – 200-300°C
0	0	1	0	Opšte pregrijavanje provodnika
1	0	1	0	Cirkulišuće struje namotaja
1	0	2	0	Cirkulišuće struje jezgra i kotla, pregrijani spojevi
0	0	0	1	Preskakanje bez prolaza energije
0	0	1 ili 2	1 ili 2	Električni luk sa prolaznom energijom
0	0	2	2	Kontinuirano iskrešenje do potencijalnog plutanja
5	0	0	1 ili 2	Djelimično pražnjenje sa praćenjem

D. Proučavanje i primjena metode ključnog gasa

Proučavanje metode ključnog gasa je počelo u Doble laboratorijama i prvi put je sumirano 1973, a zvanično predloženo 1974. Godine 1978, poređenje između metode ključnog gasa i Rodžersove metode je predstavljeno na godišnjoj konferenciji u Doble. Tada je shvaćeno da su metodi odnosa osmišljeni za upotrebu na transformatorima koji kao rashladno i izolacijsko sredstvo koriste ulje. Griffin je dao opsežan pregled o metodi ključnog gasa, metodima odnosa, i srodnim aplikacionim pitanjima [3].

Metod ključnog gasa identifikuje ključni gas za svaki tip kvara i koristi procenat tog gasa da dijagnostikuje kvar. On tumači DGA rezultate bazirane na jednostavnom skupu činjenica. Na primjer, nizak intenzitet parcijalnog pražnjenja (PD-Partial Discharge) uglavnom proizvodi H₂ sa količinama u tragovima nekih ugljovodonika, tako da je ključni gas za PD ili koronu H₂, a PD ili korona se mogu uočiti ako je procentualna količina H₂ velika u uzorku ulja. Tabela VIII sumira dijagnostičke kriterijume metode ključnog gasa. Procentualna količina gasa je bazirana na ukupnim rastvorenim zapaljivim gasovima (TDCG-Total Dissolved Gas Concentration) i ima odgovarajući broj.

Tabela VIII

DIJAGNOSTIČKI KRITERIJUM METODE
KLJUČNOG GASA

Kvar	Ključni gas	Kriterijumi	Procent. količina gasa
Varničenje	Acetilen (C ₂ H ₂)	Velika količina H ₂ i C ₂ H ₂ , i minorne količine CH ₄ i C ₂ H ₄ . CO i CO ₂ takođe mogu postojati ako je uključena celuloza	H ₂ : 60% C ₂ H ₂ :30%
Korona (PD)	Vodonik (H ₂)	Velika količina H ₂ , nešto od CH ₄ , sa malim količinama C ₂ H ₆ i C ₂ H ₄ . CO i CO ₂ mogu biti uporedivi ako je uključena celuloza.	H ₂ : 85% CH ₄ : 13%
Pregrijavanje ulja	Etilen (C ₂ H ₄)	Velika količina C ₂ H ₄ , manja količina C ₂ H ₆ , neke količine CH ₄ i H ₂ . Tragovi CO	C ₂ H ₄ :63% C ₂ H ₆ :20%
Pregrijavanje celuloze	Ugljen monoksid (CO)	Velika količina CO i CO ₂ . Mogu postojati gasovi ugljovodonika.	CO: 92%

E. Metodi bazirani na vještačkoj inteligenciji

U prošloj deceniji je obavljeno opsežno istraživanje upotrebe tehnika vještačke inteligencije za pomoć u DGA. Ova istraživanja obuhvataju pristup stručnog sistema([Baret89],[Lin93],[Džozef89]) pristup neizrazitog sistema, i pristup vještačke neuronske mreže (engl. *Artificial neural networks* - ANN)[4].

Stručni sistem je sistem za pomoć kod donošenja odluka koji obezbeđuje dijagnozu kvara i savjet u vezi održavanja. Temelji se na znanju stručnjaka koji posjeduju znanje o kvarovima i ponašanju transformatora na temelju višegodnjeg iskustva stečenog dijagnostifikovanjem stanja transformatora. To znanje se pretvara u bazu pravila koja se koriste u računarskim programima.

Postojalo je prilično malo stručnih sistema. Tabela IX navodi tri od njih kao primjere, iz čega možemo da sumiramo da bi barem tri funkcije trebalo da budu obuhvaćene u dijagnostički sistem za energetske transformatore: prvo, „centralna dijagnostička mašina“ inkorporiše nekoliko DGA metoda; drugo, „stručni rukovodilac“ razmatra posebna pravila; i treće, „savjetnik održavanja“ predlaže datum za sledeću analizu i akcije održavanja.

Tabela IX STRUČNI SISTEMI ZA DIJAGNOSTIKOVANJE KVARA
ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Referenca	DGA metodi	Karakteristike
[Baret89]	Rodžersova metoda IEC 599 Ključni gas	<ul style="list-style-type: none"> • Provjera i upozorenje za curenje zaptivača • Provjera i upozorenje na sadržaj vode • Sumnjiva identifikacija nivoa gasa bazirana na „normi“ • Savjeti o održavanju bazirani na TDCG
[Lin93]	Dornenburg odnos Rodžersova metoda IEC 599	<ul style="list-style-type: none"> • Trend odnosa, prag norme, analiza ključnog gasa i ostala razmotrena ekspertiza • Neizraziti skup pragova norme, granice odnosa i analiza ključnog gasa • Heuristička pravila održavanja
[Džozef89]	Metodi odnosa	<ul style="list-style-type: none"> • Limiti „norme“ • Analiza istorijskog trenda • Heuristička pravila iskustva • Baza podataka i proširen pristup udaljenim podacima • Preporuke za održavanje

Efektivnost stručnog sistema zavisi od preciznosti i kompletnosti baze znanja, koja je obično veoma komplikovana i mora se ručno konstruisati. Glavni problem sa stručnim sistemom je taj da on ne može automatski da prilagodi svoja dijagnostička pravila, i stoga ne može da stekne znanje iz novih uzoraka podataka kroz proces samoučenja. Onog trenutka kada se izgradi stručni sistem, obično je veoma teško da se on nadogradi.

Korišćenjem teorije neizrazitih informacija(npr. količina plina u ulju je „velika“, dakle nije izrazito precizirano), mogao bi da bude izgrađen sistem za dijagnozu kvara baziran na neizrazitom skupu. Glavno pitanje je da se podese funkcije neizrazitog sistema koje su bazirane na postojećim DGA metodima i iskustvima. Prikladno, to se obavlja ručno, a kasnije, automatskim korišćenjem sofisticiranih matematičkih metoda poput evolutivnog izračunavanja, genetičkog algoritma, adaptivnog odbacivanja. Prednost neizrazitog sistema je ta da je neosjetljiv na greške u uzorku ulja, skladištenju procesima testiranja. Jedna mana je ta, da je vezan sa konvencionalnim DGA metodima, i ne može direktno da saznaje iz uzoraka podataka.

Važna prednost dijagnoze kvara bazirane na ANN jeste ta da može direktno da saznaje iz uzoraka obuke, i da dopuni svoje znanje kada je to potrebno. Razvijena sposobnost nelinearnog mapiranja neurona obezbeđuje uporedivu i često superiornu performansu solucija neizrazitog sistema. ANN složenost izračunavanja nije velika, naročito u procesu testiranja (dijagnoze)[5][6].

F. Ostali dijagnostički metodi i industrijska ekspertiza

1) Dijagnostikovanje pukotine

Transformatori sa sistemom za očuvanje ulja sa azotom (N₂) predstavljaju djelotvoran sistem u spriječavanju potencijalnih mehaničkih oštećenja(pukotina) usljed

djelovanja nadpritiska koji se stvori u kotlu transformatora. Kiseonik jedan od ključnih predstavnika oksidacije ulja i celuloze. Prisustvo kiseonika (O_2), ako su količine veće od 5% od ukupnog sadržaja gasa, smatra se napuknutim zaptivačem. Pošto je količina O_2 i N_2 obično mnogo veća od zbir ostalih gasova, ponekad se odnos N_2/O_2 koristi da ukaže na nastanak curenja. Ako je N_2/O_2 mnogo manji od 5%, može postojati curenje. Konačna odluka bi trebalo da razmotri da li postoji curenje tokom uzorkovanja i testiranja ulja. Ako se ta mogućnost može eliminisati, tada je curenje sistema za očuvanje ulja sigurno.

2) Dijagnostikovanje degradacije papira

Dijagnostikovanje degradacije papira je suštinski deo procjene stanja izolacije transformatora. Prikladno, to se obavlja korišćenjem odnosa CO i CO_2 . Smatra se da se CO_2/CO odnos od 3,0 prema 10,0 nalazi u prihvatljivom rasponu. Pravilo je vjerovatno poteklo iz [IEC599], gdje su predloženi normalni rasponi od $3 < CO_2/CO < 11$.

Za pregrijavanje celuloze usljed visoke temperature (na primjer, pod uslovima varničenja), odnos CO/CO_2 se približava 1:1 zato što varničenje veoma brzo stvara CO. Za neadekvatno rashlađene ili preopterećene transformatore, CO_2 se povećava mnogo brže nego CO i stoga je odnos CO/CO_2 u rasponu 1:20 do 1:10.

Početkom 1990-tih, dijagnoza degradacije celuloze bazirana na heterocikličnim jedinjenjima zainteresovala je mnoge istraživače. Postoji pet opšte uočenih heterocikličnih jedinjenja: 5-hidroksimetil-2-furfurol (HMF), furfural alkohol ili furfural (FOL), 2-furfurol ili 2-furfuraldehid ili 2-furaldehid (FAL), 5-metil-2-furfurol (MF) i 2-acetil heterociklično jedinjenje (AF). Velika količina heterocikličnih jedinjenja može se stvoriti iz celuloznih materijala kada je temperatura iznad $120^\circ C$. Onog trenutka kada se stvore, mogu da opstanu dugo vremena u ulju transformatora i stoga su pogodni za dijagnozu početnog kvara. 2-furfurol je primarni heterociklični nus-proizvod degradacije celuloze, i pokazano je da ima veću stabilnost od ostalih heterocikličnih jedinjenja. On je pouzdan indikator degradacije papira energetskih transformatora.

III. ZAKLJUČAK

Analiza rastvorenog gasa u ulju je uspješna tehnika za dijagnozu početnog kvara energetskog transformatora, ali znanje i iskustvo obično dolazi od stručnjaka i može se pronaći u raznim publikacijama. Od glavnog interesa za inženjere održavanja je to da se ovo znanje i iskustvo mogu naučno organizovati i predstaviti na jeziku inteligentne mašine. S druge strane, nove dijagnostičke tehnike moraju da budu razvijene u fazi praktične aplikacije, naročito kada su tehnike vještačke inteligencije sugerisale mogućnost direktnog saznavanja iz sirovih podataka.

Potpuno automatizovan sistem može biti konačni cilj za tehnike bazirane na vještačkoj inteligenciji (engl. *Artificial Intelligence* - AI)[7]. Sa popularnošću aplikacija baziranih na

Internetu, to bi mogao da bude sistem za detekciju abnormalnosti i dijagnozu kvara baziran na serveru bez potrebe za administratorom. Uzorkovanje ulja, testiranje, i AI dijagnostički moduli mogu biti zasebno razvijeni ali moraju da budu pouzdani.

Metodi razmjeravanja podataka i funkcije aktivacije uveliko utiču na performansu dijagnostičkih metoda. Ako se ne izabere pravilno, AI tehnologija može biti manje efikasna od ljudskog stručnjaka. Ako se pravilno utvrdi, performansa dijagnostičkih metoda baziranih na AI bi mogla da bude jednaka ili bolja od stručnjaka.

ZAHVALNICA

Istraživanja u ovom radu su rađena u sklopu izrade diplomskog rada na prvom ciklusu akademskih studija na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Istočnom Sarajevu pod mentorstvom prof. dr Vladice Mijailovića.

LITERATURA

- [1] Prof. Dr Jovan Nahman, Dr Vladica Mijailovic „Razvodna postrojenja“, Akademska misao, ETF Beograd, 2005, str. 397;398.
- [2] Halstead, W. "A thermodynamic assessment of the formation of gaseous hydrocarbons in faulty transformers", J. Inst. Pet. 1973.
- [3] Michel Duval, "Dissolved Gas Analysis and Duval Triangle", TechCon Asia Pacific, Sydney, Australia 2006.
- [4] Zhenyuan Wang, Yuwen Zhang, Chun Li, Yilu Liu, "ANN based transformer fault diagnosis", Proceedings of the American Power Conference, Vol.1, Illinois Inst. Technol., Chicago, IL, USA, 1997
- [5] Zhenyuan Wang, Yilu Liu, P.J. Griffin, "A combined ANN and expert system tool for transformer fault diagnosis", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.4, Oct 1998,
- [6] Zhenyuan Wang, Yilu Liu, Paul J. Griffin, "Neural Net and Expert System Diagnose Transformer Faults", IEEE Computer Applications in Power, Jan 2000, pp.50-55
- [7] Zhenyuan Wang, Yilu Liu, Nien-Chung Wang, Tzong Yih Guo, Frank T.C. Huang, P.J. Griffin, "Artificial Intelligence in Power Equipment Fault Diagnosis", IEEE PES 2000 Winter Meeting, Singapore, Singapore, Jan 2000
- [8] <http://www.vankooy.com/newsletter-4/>

ABSTRACT

In this project the evolution of DGA based techniques for power transformer incipient fault diagnosis will be summarized. First we will review studies on cellulosic and oil decomposition mechanisms, and the discovery of a thermodynamic equilibrium relationship between the fault temperature and rate of gas generation. We will then introduce the conventional DGA methods, including ratio and key gas methods, and industrial experiences with DGA-based incipient fault diagnosis.

DGA (DISSOLVED GAS-IN-OIL ANALYSIS) BASED POWER TRANSFORMER INCIPIENT FAULT DIAGNOSIS

Miljan Šinik, Neda Kubatlija, Milorad Mitrović,
Aleksandar Šojić