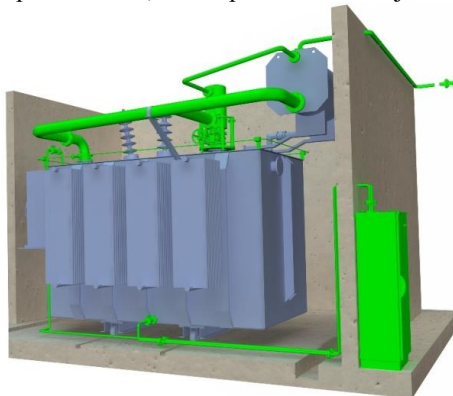


ZAŠTITA ULJNIH TRANSFORMATORA OD EKSPLOZIJE: OGLEDI I SIMULACIJE

S. Muller, SERGI France, France
G. Perigaud, SERGI France, France
M. Petrovan-Boiarciuc, SERGI France, France
O. K. Ahmed., Transformer Protector Corp, USA
Ben Landis, Transformer Protector Corp, USA
Sangpil Yoon, Transformer Protector Corp, USA

UVOD

Privatizacijom elektroprivrednih preduzeća, sve više se zaoštava konkurencija na tržištu električne energije. U nastojanju da ograniče svoje troškove, preduzeća često pribegavaju smanjenju ulaganja u modernizaciju svojih objekata, koristeći staru opremu i transformatore često iznad granica njihove opteretivosti. Eksplozije uljnih transformatora su zbog toga sve češća pojava što za posledicu ima nastanak opasnih požara, velikih materijalnih šteta i moguća značajna zagađenja okoline. Radi ograničenja ovakvih posledica, transformatori se obično ograđuju protivpožarnim zidovima i opremaju uređajima za gašenje požara prskajućom vodom. U cilju dogradnje ovakvog niza primenjenih zaštitnih mera, nastao je ovaj rad koji se bavi strategijom sprečavanja nastanka proboja trafo suda. Oslikana zelenom bojom na donjoj slici, ova strategija je zasnovana na mehaničkom reagovanju Rasteretnog Sistema na porast dinamičkog pritiska unutar trafo suda, nastalog kao posledica delovanja unutrašnjeg električnog luka. Kada se dogodi unutrašnji kvar, sistem deluje tako što oslobađa sud viška pritiska i brzo evakuše ulje u poseban sud, čime sprečava stvaranje uslova za nastanak eksplozije.



SLIKA 1 – TRANSFORMATOR ZAŠTIĆEN PRIMENOM STRATEGIJE RASTEREĆENJA PRITISKA

Rad polazi od kratkog pregleda praktičnih ogleda sprovedenih u cilju objašnjavanja fizičkih pojava koje vode nastanku rizika od proboja trafo suda, te predočavanja načina delovanja sistema zaštite i procenjivanja njegove

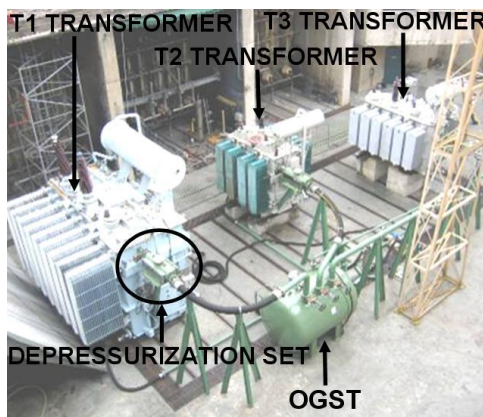
efikasnosti. Posebne numeričke metode razvijene su za potrebe opisivanja pojave neujednačenog pritiska kod delovanja unutrašnjeg luka. Ovi alati mogu da simuliraju: tokove ulja u dve agregatne faze, nestabilne, stišljive viskozne tokove, termičke i gravitacione efekte, kao i 3D modeliranje. Simulacije su izvedene na geometriji industrijskog 200 MVA transformatora u cilju ocene delotvornosti ovakve strategije sprečavanja eksplozija, na osnovu brze evakuacije ulja.

OGLEDNA ISPITIVANJA

Kompletnu eksperimentalnu studiju izvodio je CEPTEL, brazilska nezavisna visokonaponska laboratorija zajedno sa SERGI Holding, sa ciljem ustanovljavanja hronologije događaja unutar transformatora, koji mogu da dovedu do proboja trafo suda, a takođe i radi ispitivanja načina delovanja strategije prevencije.

Odabrana ogledna konfiguracija

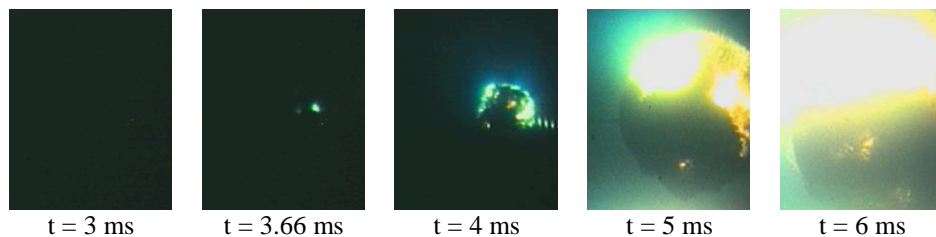
U okviru ispitivanja sa izazivanjem unutrašnjeg električnog luka, korišćena su tri uljna transformatora industrijske veličine (do 5.3 m dužine), sa svim unutrašnjim elementima (namotajima, vezama, ...) i opremljena raznim sensorima (pritiska, temperature, protoka...). Veličina transformatora omogućila je detaljno proučavanje neravnomerne raspodele pritiska unutar trafo suda. Štaviše, kako su eksplozije veoma opasne i nepredviđive, bilo je nužno koristiti transformatorsku zaštitu i tokom oglada. Označena na slici 2 zelenom bojom, ovu zaštitu čini Rasteretni Sistem (RS) pritiska zasnovan na direktnom mehaničkom odzivu na pojavu pritiska izazvanog električnim lukom unutar trafo suda. Zaključci u vezi ovih ispitivanja sažeti su u nekoliko narednih pasusa. Svi detalji u vezi zaključaka izvedenih na osnovu testova sažeto su prikazani u narednim poglavljima, a takođe se nalaze i u literaturi [1].



SLIKA 2 - CEPTEL OGLEDNA KONFIGURACIJA

Proces isparavanja i zasićenja

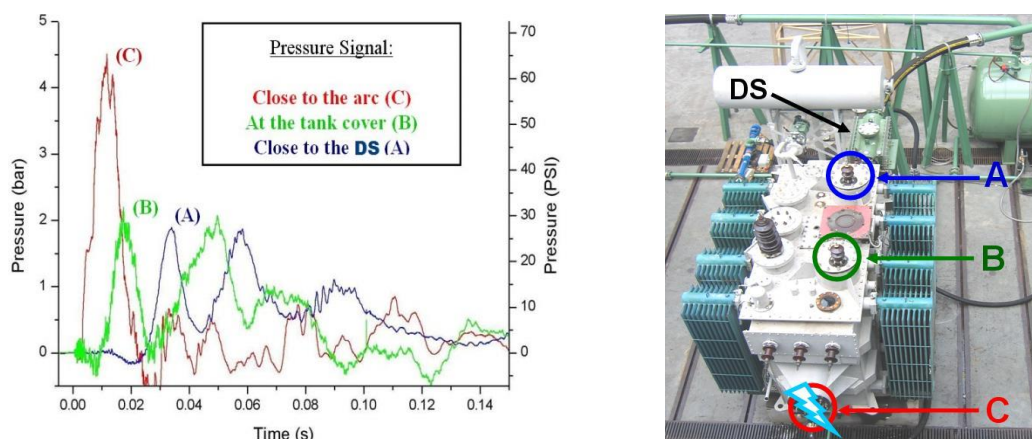
U dodiru sa električnim lukom unutar transformatora, gotovo trenutno dolazi do naglog isparavanja ulja i formiranja značajnog volumena gasa (slika 3). Utvrđeno je da je količina stvorenog gasa izraz logaritmičke funkcije energije električnog luka, što je u skladu sa procesom isparavanja, posebno sa zasićenjem pare kod velikih energija električnog luka. Zapravo, nakon što je električni luk doveo do isparavanja ulja u svojoj neposrednoj okolini i stvaranja gasnog mehura, on ostaje unutar njega koristeći svoju energiju za razbijanje stvorenih isparenja, umesto stvaranja novih, što doprinosi ublažavanju daljeg procesa isparavanja. Prva faza isparavanja odvija se gotovo trenutno i usled inercije ulja, gas biva veoma brzo sabijen, stvarajući visok udarni pritisak.



SLIKA 3 – MEHUR GASA (3 DO 6 MS NAKON PALJENJA LUKA)

Širenje talasa pritiska

Na slici 4 prikazan je eksperimentalni profil pritiska. Svaka kriva prikazuje registrovani pritisak na senzorima pritiska postavljenim u tačkama A (suprotno od mesta paljenja luka, odnosno u blizini zaštitnog sistema), B (bliže mestu kvara) i C (kod mesta kvara).

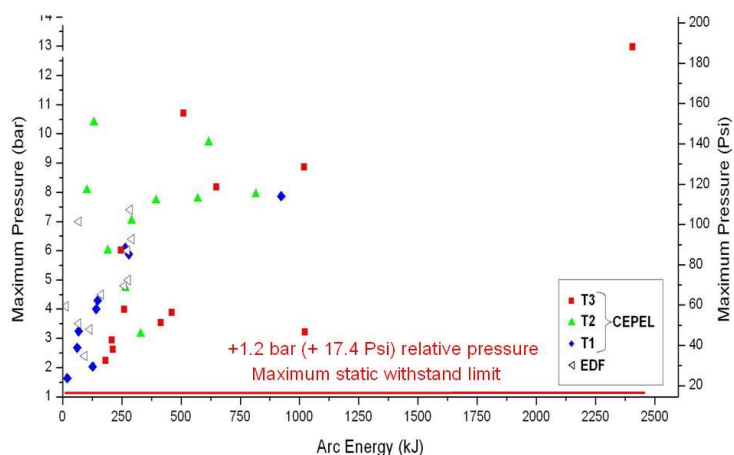


SLIKA 4 - PROFIL PRITISKA U RAZLIČITIM TAČKAMA

Razvoj udarnog talas unutar suda može se, s toga, lako ispratiti sa slike 4. Paljenje luka u tački C stvara visok udarni talas pritiska (objašnjeno u tački 2.2). Svojim širenjem ovaj talas dostiže još jednu vršnu vrednost u tački B i završava u tački A. Vidi se da svaki senzor beleži više vršnih vrednosti talasa (nižeg intenziteta od prvog vrha), što su zapravo talasi koji se reflektuju od zidova trafo suda. Na ovaj način, eksperimentalno je dokazano da porast pritiska unutar trafo suda nije ravnomerno raspoređen u prostoru, ali da se širi istom brzinom.

Izdržljivost trafo suda na velike dinamičke pritiske

Podnosivi statički pritisak trafo suda obično iznosi oko 2.2 bar (abs.). Drugim rečima, podvrgnut stabilnom, ravnomerno raspoređenom pritisku (tzv. statičkom pritisku) većem od 2.2 bar doći će do proboja trafo suda vidi [1] ili [2]).



SLIKA 5 - MAKS. RELATIVNI PRITISAK IZMEREN TOKOM SVAKOG OGLEDA U FUNKCIJI ENERGIJE LUKA

Tokom ogleđa sa delovanjem električnog luka, koje su sproveli CEPEL i SERGI, senzori su zabeležili vršne vrednosti i do 14 bar (abs.) a da nije došlo do proboja trafo suda (sl. 5). U stvari, zahvaljujući delovanju sistema zaštite, kao što je prikazano na sl. 4, trafo sud je samo lokalno bio izložen vršnim vrednostima pritiska (tzv. dinamičkog pritiska) i to veoma kratko, zbog čega nije pretrpeo oštećenja. Testovi su pokazali da ukoliko se u prvih nekoliko milisekundi sistem aktivira pri prvom porastu dinamičkog pritiska i izvrši brza evakuacija ulja pre konačnog formiranja statičkog pritiska, moguće je sprečiti proboj trafo suda.

SIMULACIJA EKSPLOZIJE TRANSFORMATORA 200MVA I NJENA PREVENCIJA

Opis modela za simulaciju

Ogledna ispitivanja pokazuju da su za nastanak eksplozija transformatora ključni: pojava lokalnog porasta pritiska pod dejstvom električnog luka koji uzrokuje naglo isparavanje ulja i širenje udarnog talasa pritiska.. Suština modela za simuliranje ovih pojava svodi se na sistem parcijalnih diferencijalnih jednačina koje odražavaju dinamiku fluida dok se ostalim pojavama (viskozitet, termička svojstva...) upravlja spoljnim, uvedenim parametrima. . Ovaj sistem jednačina proističe iz 5 jednačina koje opisuju dvofazni tok razvijen u [4]. Obe posmatrane faze (tečna/gasovita) smatraju se stišljivim.. Termodinamikom procesa pažljivo se upravlja, kako bi bila izbegnuta svaka teorijska i numerička greška.. Modelovanje podrazumeva postojanje odgovarajućih dodirnih tačaka između faza, tako da one imaju isti pritisak i brzinu u datoj tački posmatranog domena. Cilj primene ovakvog alata jetse da se proceni raspodela pritiska unutar trafo suda tokom prvih delića sekunde nakon pojave električnog luka..

Cilj istraživanja

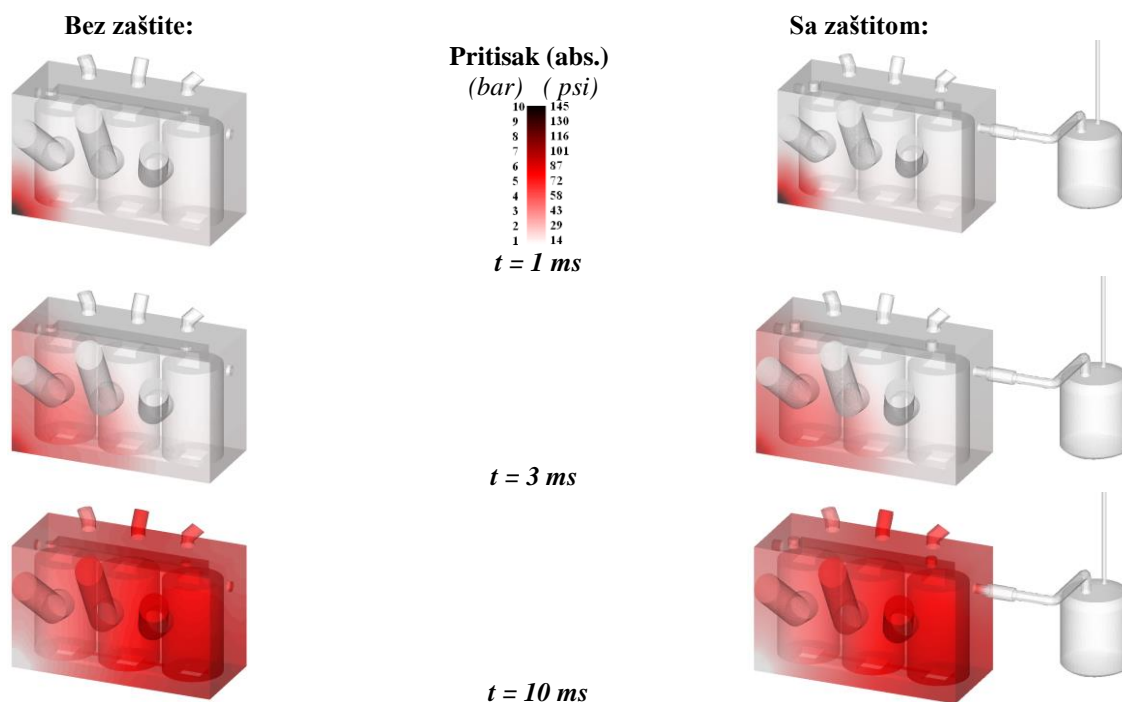
U narednom poglavlju korišćen je model za simulaciju i detaljno proučavanje efekata dejstva električnog luka unutar transformatora 200MVA. Takođe, model služi i za analizu posledica korišćenja strategije prevencije kakva je opisana u prvom delu ovog rada..

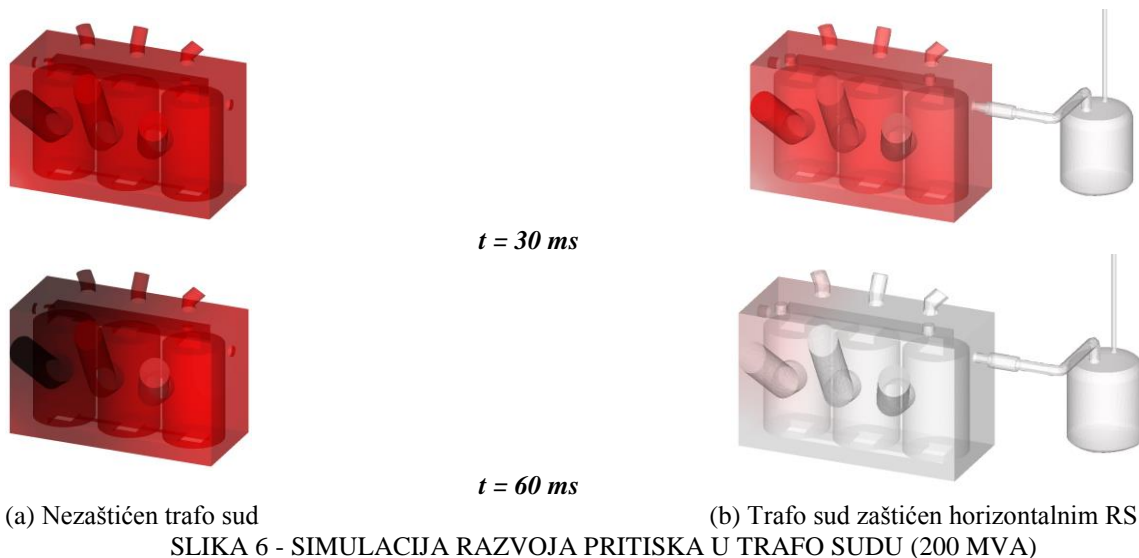
Konfiguracija

Transformator 200MVA dugačak je 5.75 m, visok 3.25 m i širok 2.5 m i sva njegova oprema, poput otvora za prolazne izolatore, uzeta je u obzir. U jednom uglu transformatora, izazvan je električni luk (11.5 MJ luka proizvodi oko 3.4 m³ gasa), koji za posledicu ima stvaranje gasnog mehura pritiska 11 bar abs..

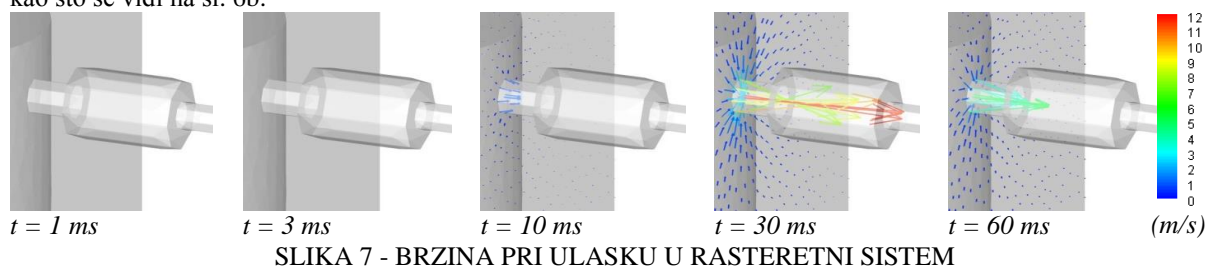
Rezultati simulacije

U sekvencama na slici 6 prikazana je simulacija razvoja pritiska unutar trafo suda nakon stvaranja gasnog mehura. Sa desne strane (sl. 6b), transformator je opremljen ranije opisanim zaštitnim sistemom (sl. 6a), dok je sa leve strane prikazan nezaštićen transformator.





Kod zaštićenog transformatora, gasni mehur stvara talase pritiska koji se šire i odbijaju od unutrašnje strukture transformatora (sl. 6b). Za 3 ms, prva vršna vrednost pritiska stiže do uvoda prvog prolaznog izolatora, kao na sl. 6b. Talas pritiska zatim aktivira Rasteretni Sistem, otprilike 10 ms nakon nastanka pojave. Reagovanjem zaštite dolazi do brze evakuacije ulja (sl. 7) iz trafo suda što za posledicu ima proređivanje talasa koji se kreću kroz unutrašnjost transformatora. Nakon svega 60 ms, dolazi do stabilizacije pritiska znatno ispod opasnih vrednosti, kao što se vidi na sl. 6b.



Sa druge strane, kod nezaštićenog transformatora, ukoliko je unutar istog došlo do sličnog niskoimpedantnog kvara, njegov trafo sud će biti izložen velikim naprezanjima pod nastalim visokim pritiskom.. Na primer, 60 ms nakon pojave luka, pritisak kod prolaznih izolatora naraste do 10 bar abs, kao na sl. 6a. Štaviše, bez sistema zaštite, statički pritisak će se stabilizovati na oko 7.4 bar abs, usled čega će doći do burne eksplozije transformatora (kao što je rečeno, trafo sud je predviđen da izdrži 2.2 bar abs).

SIMULACIJA EKSPLOZIJE TRANSFORMATORA I NJENO SPREČAVANJE (TRAFU SUD I KOMORE PROLAZNIH IZOLATORA)

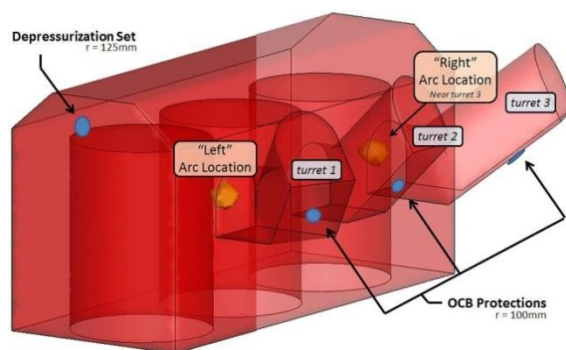
Za proučavanje strategije brzog rasterećenja trafo suda, važno je pravilno sačiniti model geometrije transformatora, razumeti mehanizam nastanka pojave i predvideti odgovarajuće tehnološko rešenje prevencije eksplozije.

Geometrija transformatora

S obzirom da ne postoje konkretni standardi za oblikovanje transformatorskih sudova, usvajamo dimenzije, oblike i komponente koji su karakteristični za realan transformatorski sud.. Takva, detaljno modelovana geometrija pretpostavljenog transformatora izrađena za potrebe simulacije, prikazana je na Slici 8. Ovakav model transformatora sastoji se od tri unutrašnja jezgra bez prisustva ostalih elemenata (jaram, veze i sl.). Ovakva geometrija korišćena je za tri primarne konfiguracije:

- 1) Bez zaštite
- 2) Sa jednim Horizontalnim Rasteretnim Sistemom (HDS)
- 3) Sa jednim HRS + 3 zaštite prolaznih izolatora (OBCB)

Sa dve lokacije nastanka luka: “Levo” – Ulaz u komoru prvog prolaznog izolatora i “Desno” – Ulaz u treću komoru.



SLIKA 8 - ISPITNA GEOMETRIJA

Konačan oblik bio je sačinjen od približno 150,000 tetraedarskih elemenata. Granični atmosferski uslovi su korišćeni na lokaciji Rasteretnog Sistema, umesto cevnog sistema koji se koristi u stvarnim aplikacijama.

Opis električnog luka

Ispitivanja na industrijskim transformatorima [1] pružaju detaljne informacije o samoj pojavi električnog luka.

Uvodne napomene. Kad niskoimpedantni kvar nastane u uljnom transformatoru, u neposrednom dodiru sa električnim lukom ulje počinje naglo da isparava, stvarajući gasni mehur. Kako ulje u tečnoj fazi ne dozvoljava širenje gasnog mehura, isti biva sabijen i podvrgnut velikom pritisku. Razlika pritiska unutar mehura i okolnog ulja proizvodi prvi porast dinamičkog pritiska do vršne vrednosti koji u interakciji sa unutrašnjom strukturom transformatora dovodi do nastanka niza talasa dinamičkog pritiska koji se kreću brzinom zvuka, postepeno gradeći statički pritisak unutar trafo suda.

Nakon početnog isparavanja ulja i stvaranja gasnog mehura, električni luk više neće biti u neposrednom dodiru sa uljem jer ostaje zarobljen u mehuru, čime će dalje isparavanje biti ograničeno. Umesto toga, električni luk nastavlja da dogreva isparenja stvarajući plazmu. Ovaj proces ne doprinosi značajno daljem stvaranju talasa pritiska, koliko na to utiče inicijalni događaj.

Ponašanje električnog luka. Na lokaciji “levo” električni luka nastaje na ulazu u komoru 1. Na lokaciji “desno” luk nastaje na ulazu u komoru 3. Simulacija prisustva luka izvodi se ubacivanjem odgovarajućeg volumena gasa pod pritiskom, odnosno “mehura” u transformator. Zatim, za vreme trajanja luka, u posmatranu zonu se dodaje određena količina energije što doprinosi povećanju pritiska kao posledica delovanja jednačine stanja. [5]. Mehur poprima približno cilindričan oblik, dužine oko 0.4m i prečnika oko 0.2m i nalazi se pod pritiskom od 11 bar.

Modelovanje zaštite

Simuliranje delovanja sistema za ratsrećenje predstavlja težak zadatak. Ovo je u postupku simulacije izvedeno promenom graničnih uslova na prelazu između ulja i komore za dekompresiju, a koji su funkcija razlike pritiska duž linije razdvajanja. Dodatno, trebalo je omogućiti da se ta promena izvrši u skladu sa stvarnim ponašanjem membrane koja se otvara od sredine ka spolja.

Modelovanje parametara za simulaciju uaštite

Parametri za simulaciju zaptite prikazani su u Tabelama 1, 2 i 3. Ulje i gas su modelovani jednačinom stanja.

	Gustina (kg/m ³)	Gamma (unit-less)	Čvrstoća (Pa)
Ulje	843.0	1.7	7.0*10 ⁸
Gas	1.0	1.43	0.0

TABELA 1 - KARAKTERISTIKE FLUIDA

	Alpha	Pritisak (Pa)
Trafo sud	1.0*10 ⁻⁵	1.0*10 ⁵
”Mehur”	0.99999	1.1*10 ⁶
Prolaz (kada je otvoren)	0.99999	1.0*10 ⁵

TABLE 2 - POČETNI USLOVI

Struja (vršno)	Napon (vršno)	Učestanost	Trajanje	Ukupna energija
2.0*10 ³ A	80.0*10 ³ V	50.0 Hz	0.110 s	7.1986 MJ

TABELA 3 - PARAMETRI ELEKTRIČNOG LUKA

Rezultati simulacije

Tabela 4 prikazuje vršne vrednosti pritiska tokom svih šest proba. Tabela 5 prikazuje vremena aktiviranja svakog pojedinačnog zaštitnog uređaja, kao i trajanje rasterećenja trafo suda. Vreme Aktiviranja definisano je kao period od paljenja luka do otvaranja komore za rasterećenje. Vreme Rasterećenja definisano je kao period od paljenja luka do pada dinamičkog pritiska do nivoa podnosivog statičkog pritiska trafo suda.

	Sud *	Komorat 1	Komora 2	Komorat 3
”Levo” - Bez zaštite	19.3 bar	15.0 bar	10.7 bar	18.2 bar
”Levo” - HDS	16.8 bar	12.4 bar	9.4 bar	15.5 bar
”Levo” - HDS + 3 OBCB	15.0 bar	12.1 bar	7.0 bar	9.3 bar
”Desno” - Bez zaštite	18.6 bar	17.7 bar	11.9 bar	15.5 bar
”Desno” - HDS	17.0 bar	15.8 bar	10.1 bar	12.4 bar
”Desno” - HDS + 3 OBCB	15.0 bar	11.5 bar	6.6 bar	11.5 bar

* Vršna vrednost pritiska u Sudu može nastati bilo gde unutar transformatora, uključujući komore prolaznih izolatora

TABELA 4 - VRŠNE VREDNOSTI PRITISKA U TRANSFORMATORU

	Vreme rasterećenja	Aktiviranje HDS	Aktiviranje OBCB Komora 1	Aktiviranje OBCB Komora 2	Aktiviranje OBCB Komora 3
”Levo” - Bez zaštite	∞	n/a	n/a	n/a	n/a
”Levo” - HDS	400 ms	2.07 ms	n/a	n/a	n/a
”Levo” - HDS + 3 OBCB	146 ms	1.95 ms	1.56 ms	2.84 ms	5.33 ms
”Desno” - Bez zaštite	∞	n/a	n/a	n/a	n/a
”Desno” - HDS	350 ms	5.33 ms	n/a	n/a	n/a
”Desno” - HDS + 3 OBCB	139 ms	5.32 ms	5.97 ms	3.08 ms	1.65 ms

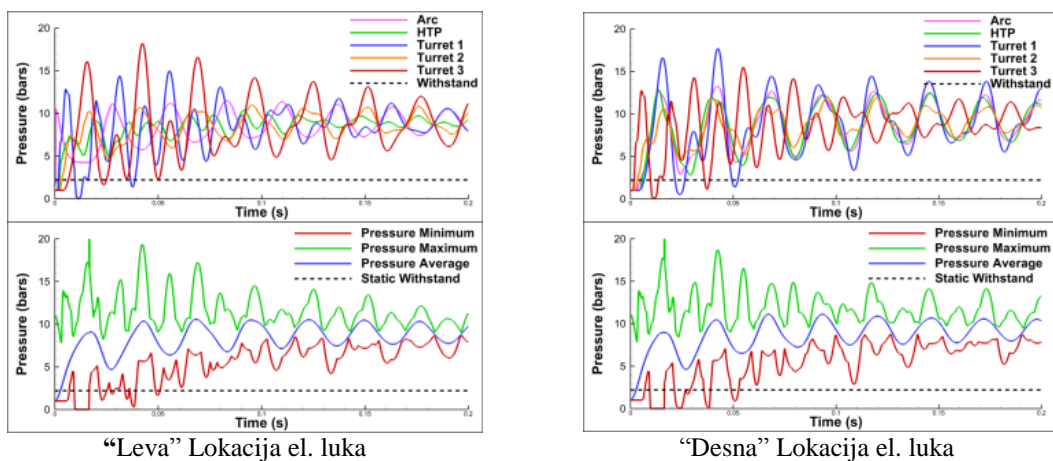
TABELA 5 - VREMENA AKTIVIRANJA I RASTEREĆENJA

Vreme Aktiviranja za ”levi” električni luka pokazuje da je OBCB zaštitna 20% brža od same HDS zaštite. Kod ”desnog” kvara OBCB se aktivira 70% brže nego HDS samostalno.

Razlike u Vremenima Rasterećenja su čak i veće. Kod ”levog” kvara, Vreme Rasterećenja OBCB je 36.5% od vremena same HDS zaštite. Kod ”desnog” kvara to iznosi čak 2.6 puta brže.

Efekat mesta kvara

Rezultati pokazuju visok stepen simetrije u odnosu na lokaciju kvara. Slika 10 prikazuje profil pritiska za nezaštićeni transformator. Brojke pokazuju da su rezultati u oba slučaja slični, s tim da su za srednju komoru (2) gotovo identični, dok su za komore 1 i 3 simetrični u odnosu na mesto kvara.



SLIKA 10. - BEZ ZAŠTITE

Mogu se, pak, uočiti određene razlike između Leve i Desne lokacije. U Tabeli 6 dato je poređenje vršnih vrednosti pritiska u važnim tačkama transformatora. Iako su profili pritiska slični, vršne vrednosti se razlikuju i do 10%.

	Pritisak (bars)		
	“Levo”	“Desno”	Razlika
Trafo sud	19.3	18.6	- 0.7
Dalja komora	18.2	17.7	- 0.5
Bliža komora	15.0	15.5	+ 0.5
Srednja komora	10.7	11.9	+ 1.2

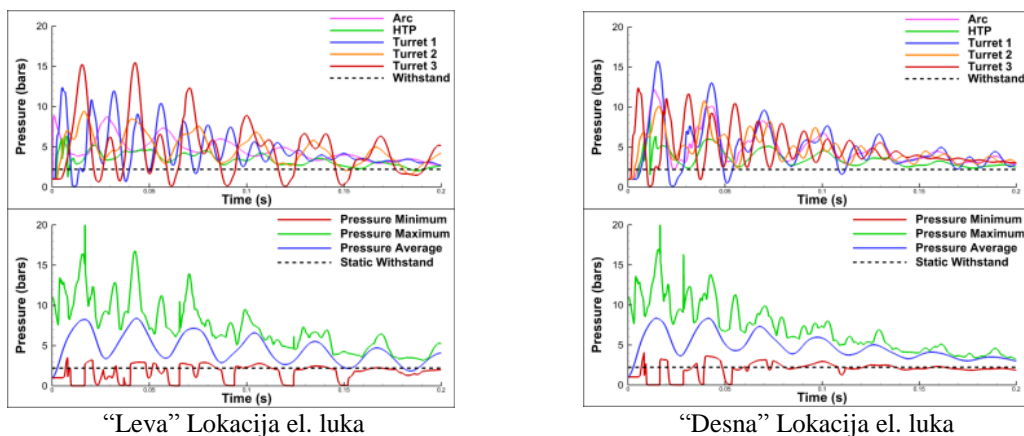
TABELA 6 – VRŠNE VREDNOSTI

Konačno, ustanovili smo da za razliku od OCBC, za HDS jeste značajno da bude blizu mesta kvara. Na lokaciji “Levo” HDS se aktivira 1.25 puta brže. Na lokaciji “Desno” to se događa čak 3 puta brže, samo zahvaljujući blizini mestu kvara.

Efekat na OCBC zaštite

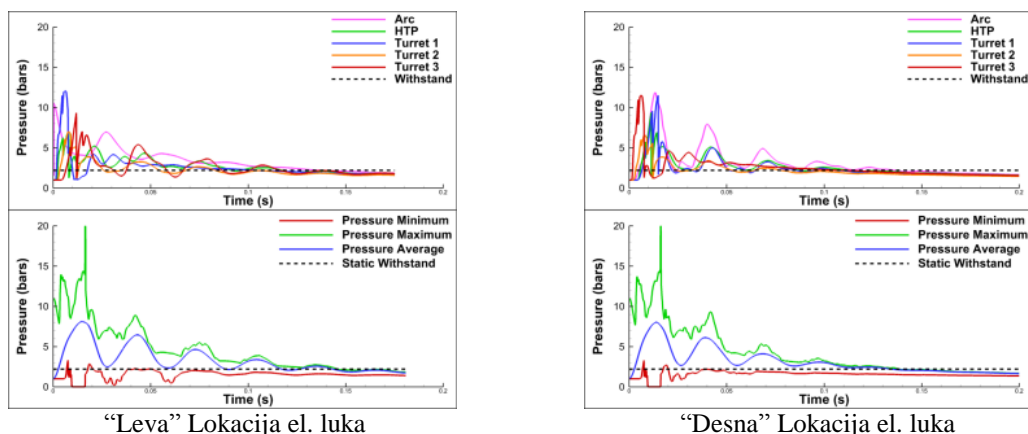
Iz razmatranog se može uočiti trend kojim dodatne OCBC zaštite značajno doprinose bržem aktiviranju DS, ukoliko se mesto kvara nalazi dovoljno blizu komore.

Važnije od toga, rezultati pokazuju da dodavanje 3 OCBC skraćuje Vreme Rasterećenja u poređenju sa primenom samo jednog HDS sistema. Kao što se vidi iz Tabele 5, Vreme Rasterećenja kod primene 3+1 konfiguracije kraće je 2.6 puta od Vremena Rasterećenja u konfiguraciji samo sa HDS.



SLIKA 11 11 - JEDAN HORIZONTALNI SISTEM ZA RASTEREĆENJE

Osim navedenog, simulacije pokazuju da dodatna OCBC zaštita takođe doprinosi i ograničavanju vršnih vrednosti pritiska zabeleženih na senzorima unutar komora prolaznih izolatora, kao što je prikazano u Tabeli 4. Kretanje nivoa pritiska je prikazano na slikama 5 i 6.



“Leva” Lokacija el. luka

“Desna” Lokacija el. luka

SLIKA 12 - HORIZONTALNI RASTERETNI SET + 3 OBCB

ZAKLJUČAK

Ekperimentalne Probe

Nizom sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja postignuto je bolji razumevanja okolnosti pod kojima dolazi do eksplozija transformatora usled dejstva električnog luka. Zbog opasne i nepredvidive prirode eksplozija, ogledi su izvedeni na transformatorima opremljenim zaštitnim uređajima kalibrisanim prema očekivanim vrednostima dinamičkog pritiska.

Ispitivanja su pokazala da nakon paljenja luka u transformatoru, dolazi do burnog isparavanja okolnog ulja i stvaranja gasnog mehura koji se nalazi pod velikim pritiskom zbog inercije ulja. Razlika pritisaka koji vladaju unutar gasnog mehura i u ulju van njega, uslovljavaju nastanak talasa pritiska koji se kreću kroz unutrašnjost transformatora. Kada prvi udarni talas dosegne zaštitni uređaj, isti se aktivira i brzom evakuacijom ulja rasterećuje pritisak u trafo sudu, sprečavajući na taj način da dođe do proboja suda.

Ispitivanja su pokazala da transformatorski sud može da izdrži veoma visoke dinamičke pritiska (do 14 bar abs.) tokom nekoliko desetina milisekundi, iako su predviđeni za podnošenje statičkog pritiska od 2.2 bar abs.

Simulacija eksplozije i njena prevencija na transformatoru 200MVA

Osim praktičnih ispitivanja, posledice unutrašnjih kvarova transformatora su proučene i računarskim modelovanjem. U tom cilju, razvijene su posebne numeričke metode. Da bi algoritam bio efikasan, on mora verno da preslikava ponašanje ulja u tečnom i gasovitom stanju, a takođe i da simulira širenje talasa pritiska unutar transformatora. Iz ovih razloga, usvojen je kompletan model za simuliranje, sposoban da modeluje ponašanje ulja u obe faze, kao i metod konačnih zapremina za rešavanje jednačina u 3D modelu.

Simulacija je, zatim, izvedena na modelu transformatora snage 200MVA, što je ukazalo na prednosti korišćenja takvog alata:

- 1) Najpre, to je pomoglo razumevanju pojave koja može dovesti do eksplozije transformatora. Simuliranjem kvara unutar transformatora, ustanovljeno je da se kod nezaštićenog transformatora razvija dinamički pritisak koji uz reflektovane talase progresivno podiže nivo statičkog pritiska unutar transformatora dovodeći do njegovog oštećenja.
- 2) Zatim, razvijeni računarski alat, pokazao se dovoljno efikasnim za proučavanje delovanja primenjene tehnologije zaštite transformatora brzim rasterećenjem uz evakuaciju ulja. Rezultati zapravo pokazuju da evakuacija ulja doprinosi proređivanju talasa pritiska i sprečavanju narastanja statičkog pritiska u transformatoru.

Zbog svega navedenog može se zaključiti da je takva strategija brzog rasterećenja pritiska efikasna metoda sprečavanja eksplozija transformatora.

Simulacija eksplozije i njeno sprečavanje na modelu transformatora (trafo sud i komore izolatora)

Trodimenzionalni alat za simulaciju zasnovan na rešavanju sistema 5 jednačina hidrodinamičkog modela, korišćen je za proučavanje strategije zaštite transformatora. Implementacija ove strategije može se posmatrati

kao alternativa projektovanju transformatora kao sudova pod pritiskom, koje bi primenom ASME standarda dovelo do primene faktora deset u određivanju debljine trafo suda. Simulacijama je proučavana efikasnost delovanja preventivnog sistema zaštite.

Simulacije su izvedene na geometriji transformatora koja je omogućila proučavanje efekata dodavanja zaštitnih uređaja na komorama izolatora, pored već prisutnog glavnog Rasteretnog Sistema. Pri tome, pošlo se od otvorene konstrukcije komora, bez zapreke na prolazu u trafo sud. Rezultati pokazuju da primena dodatnih zaštita smanjuje ukupno vreme rasterećenja transformatora faktorom 2.6 aktiviranjem sistema 3 puta brže. Dodatno, OBCB zaštite smanjuju pritisak na same izolatore koji su inače podložni mehaničkim oštećenjima.

LITERATURA

1. Muller S, Brady R, de Bressy G, Magnier P and Perigaud G, 2008 “Prevention of transformer tank explosion, Part 1: Experimental Tests on Large Transformers”, ASME PVP08 Conference.
2. Culver B, Froehlich K and Widenhorn L, 1996, “Prevention of tank rupture of faulted power transformers by generator circuit breakers”, European Transactions on Electrical Power, Vol. 6, No. 1.
3. Allaire G, Clerc S and Kokh S, 2002, “A Five Equation Model for the Simulation of Interfaces between Compressible Fluids”, Journal of Computational Physics, vol.181, 2, 577-616
4. Brady R, Muller S, de Bressy G, Magnier P and Perigaud G, 2008, “Prevention of transformer tank explosion, Part 2: Development and Application of a Numerical Simulation Tool”, ASME PVP08 Conference.
5. Brady R, Muller S, Petrovan-Boiarciuc M, Perigaud G and Landis B, 2009, “Prevention of transformer tank explosion, Part 3: Design of Efficient Protections using Numerical Simulations”, ASME PVP09 Conference.