

STUDIJSKI ODBOR A2 – ENERGETSKI TRANSFORMATORI I PRIGUŠNICE

Predsjednik: nasl. izv. prof. dr. sc. ŽARKO JANIĆ, dipl.ing.
Tajnik: nasl. izv. prof. dr. sc. TOMISLAV ŽUPAN, dipl.ing.

Stručna izvjestiteljica: MIRNA OLIĆ, mag.ing.el.

IZVJEŠĆE STRUČNOG IZVJESTITELJA

1. UVOD

Za 17. Savjetovanje HRO CIGRÉ SO A2 – Transformatori i prigušnice usvojio je slijedeće preferencijalne teme:

1. **Pogonska iskustva**
2. **Popravak, obnova, dijagnostika i motrenje transformatora**
3. **Novosti u razvoju i nove ispitne metode**
4. **Transformator i okoliš**

Za Savjetovanje je prijavljeno 13 referata što je jednako kao i na prethodnom savjetovanju. Predano je 12 radova od kojih je prihvaćeno 11 radova. Prosječna ocjena referata je 4,23 što je najbolja ocjena do sada gledajući savjetovanja unazad nekoliko godina. Ovo je visoka ocjena i za istaknuti je da ocjene unazad zadnjih nekoliko godina kontinuirano rastu. Ovakav odaziv uz visoke ocjene potvrđuje značaj Savjetovanja te visoku razinu svjesnosti važnosti domaće stručnosti i znanja. U većini radova predložene su manje izmjene što su autori usvojili i unijeli u završni materijal. Radovi su razvrstani po preferencijalnim temama kako slijedi:

1. Pogonska iskustva: A2-01
2. Popravak, obnova, dijagnostika i motrenje transformatora: A2-02; A2-03; A2-04; A2-05; A2-06; A2-07; A2-08
3. Novosti u razvoju te nove ispitne metode i alati: A2-09; A2-10; A2-11
4. Transformator i okoliš: -

Za diskusiju u A2 su prihvaćena dva referata iz grupe D1 - Elektrotehnički materijali i nove tehnologije: D1-11_T3_R86 i D1-12_T3_R167 koji su svrstani u preferencijalnu temu 4. Dodatno će biti uvrštena i prezentacija s najnovijim vijestima Pariške CIGRE čiji se godišnji sastanak održava u listopadu ove godine.

Za diskusiju u D1 – Elektrotehnički materijali i nove tehnologije predloženi su referati A2-04 i A2-05.

Iako se zastupljenost referata po preferencijalnim temama, uvažavajući i diskusije iz D1, može ocijeniti zadovoljavajućom, prevladava preferencijalna tema 2. To je posljedica svjesnosti važnosti očuvanja i produženja vijeka postojećih transformatora te pravovremenom otkrivanju nastalih kvarova. Dan je fokus na motrenje opreme u stvarnom vremenu što je direktan doprinos stabilnosti elektroenergetskog sustava. Također je zadovoljavajuća zastupljenost preferencijalne teme 3 koja u prvom redu predstavlja zanimljivosti nehomogenog električnog polja, raspodjele udarnog prenapona te utjecaj uzemljenja nultočke transformatora na struje kratkog spoja.

Sažeti stručni osvrt i pitanja za diskusiju dani su u nastavku, redom po preferencijalnim temama i referatima. Za referate odabrane za diskusiju dan je kratki sažetak i postavljena su pitanja, sve prema procijenjenom zanimanju grupe A2. Pitanja za diskusiju nisu postavljena samo autorima referata već cijelom auditoriju. Njima se težilo potaći i usmjeriti raspravu te pojasniti neke pojmove, postupke i slično. Spontana diskusija je dobrodošla.

PREFERENCIJALNA TEMA 1: POGONSKA ISKUSTVA

A2-01: Nikola Jaman, Goran Vrančić, Igor Lukačević: POŽAR NA ULJNIM TRANSFORMATORIMA I PRIGUŠNICAMA

Referat obrađuje požar na uljnim transformatorima i prigušnicama, relativno rijedak događaj u elektroenergetskim sustavima, s potencijalno velikim pogonskim i materijalnim posljedicama. Autori u referatu navode statističke podatke velikih kvarova i požara, poznate iz svjetske literature, te opisuju kako nastaje požar kojem je glavni uzrok kvar provodnika. Navedeni su specifični zakonski propisi koji se u Hrvatskoj primjenjuju u elektroenergetskim postrojenjima kao protupožarne mjere. Detaljno je opisan operativni plan alarmiranja i gašenja za TS 400/110 kV Ernestinovo, kao i tijek požara na prigušnici 100 MVar, koji je bio povod za pisanje referata. Posebno je značajan završni dio referata koji opisuje mjere i postupke za unaprjeđenje zaštite od požara u elektroenergetskim postrojenjima.

Pitanja za diskusiju:

1. Obzirom da je rizik od pojave požara znatno manji kod provodnika tipa RIP, može li se, prema mišljenju autora, preporučiti zamjena OIP provodnika? I ako da, koji bi opseg eventualne zamjene OIP provodnika RIP provodnicima uskladio povećanje razine sigurnosti i ekonomsku opravdanost?
2. Jesu li mjerenja na monitoringu očitala promjenu kapaciteta? Ako da, u kojem postotku je iznos promijenjen? Mjeri li se monitoringom i kut gubitaka provodnika te kolika je očitana promjena njegove vrijednosti od nekog prethodnog očitavanja (istaknuti i vremenske odmake između očitavanja)?

PREFERENCIJALNA TEMA 2: POPRAVAK, OBNOVA, DIJAGNOSTIKA I MOTRENJE TRANSFORMATORA

A2-02: Zvonimir Zegnal, Ivor Ištvanfi: ZAMJENA TRANSFORMATORA U TS 110/35/10 kV SLATINA U SVRHU STVARANJA TEHNIČKIH UVJETA U MREŽI ZA PRIKLJUČENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI

Referat pokriva vrlo aktualnu temu posljednjih godina, a to su problemi s kojima se operatori prijenosnih i distribucijskih sustava susreću prilikom integracije obnovljivih izvora energije, naročito fotonaponskih elektrana. Prikazano je stvarno stanje tokova snaga u jednom čvorištu mreže koje prethodi priključenju dvije fotonaponske elektrane značajnije priključne snage. Istaknuta je neizbježna prilagodba elektroenergetske infrastrukture na distribucijskoj i prijenosnoj razini aktualnim trendovima izgradnje integriranih te neintegriranih fotonaponskih elektrana. Opis samog posla zamjene ključne komponente elektroenergetskog sustava, kao što je energetska transformator, koristan je kao pomoć s budućim sličnim rekonstrukcijama.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko su ukupno trajali sami radovi na zamjeni transformatora (od isključenja prethodnog TR2 s mreže do uključenja novo ugrađenog) te koliko je bilo ukupno trajanje zahvata gledano od donošenja odluke za zamjenom transformatora (pokretanje postupka nabave, potpisivanje ugovora, proizvodnja novog transformatora i sve ostalo do ugradnje)?
2. Koja su ostala ispitivanja novog transformatora odrađena nakon montaže, a prije puštanja u pogon? Koliko često i u kojem opsegu se ispituju ostali energetska transformatori sličnih snaga i nazivnih napona?
3. Kakve su naponske prilike karakterizirale predmetno čvorište/TS prije priključenja novih SE? Jesu li se značajnije promijenile nakon priključenja prve od spomenutih SE i što se očekuje nakon priključenja druge spomenute SE? Koliko učestale manipulacije regulacijske sklopke transformatora se očekuju?

A2-03: Marin Schönberger, Matija Romić: TS 400/110 kV ERNESTINOVO, SANACIJA ENERGETSKE PRIGUŠNICE NA TERENU

Autori su u referatu prikazali posljedice pogonskog događaja tj. požara kojeg je prouzročio proboj kapacitivnih obloga provodnika 110 kV na energetskej prigušnici 100 Mvar, te rasprsnuće provodnika. Detaljno je opisana kronologija nastanka požara te su navedena vremena djelovanja zaštite prigušnice. Po okončanju požara, prigušnica je pregledana, a u radu je opisan uzrok požara. Obavljena je defektaža prigušnice te je ista detaljno dijagnostički ispitana. Rad opisuje postupke sanacije prigušnice koje je obavljeno na terenu. Zbog važnosti prigušnice cilj je bio istu vratiti u EES sustav u što kraćem roku, a opis kako se to postiglo detaljno je opisan u referatu.

Pitanja za diskusiju:

1. Događaje poput opisanog u radu je praktično nemoguće u potpunosti spriječiti. Prema mišljenju autora, koje bi mjere valjalo poduzeti da se ublaže posljedice požara na prigušnicama i energetskim transformatorima?
2. Budući je prigušnica bila izvan EES-a nešto više od pola godine, kolika je procijenjena izravna šteta za HOPS?

A2-04: Toni Pohovski, Bruno Jurišić: METODA ZA PROCJENU NAPREZANJA IZOLACIJE TRANSFORMATORA PRIKLADNA ZA MONITORING SUSTAVE

Rad donosi zanimljiv doprinos u razumijevanju razlika između stvarnih atmosferskih prenapona i standardnih ispitnih valova. Slučaj izmjerenih atmosferskih prenapona zabilježeni su sustavom monitoringa na transformatoru u pogonu. Snimljeni prenaponi se koriste za simulaciju raspodjele napona u namotu. Uvođenje faktora ozbiljnosti (FDSF i TDSF) pruža uvid u analizu prenapona. Takva metoda je inovativna te otvara mogućnosti za daljnji razvoj ispitnih postupaka. Iako je rad više usmjeren na analizu i teorijsku obradu, daje dobru osnovu za raspravu i razmjenu mišljenja unutar stručne zajednice.

Pitanja za diskusiju:

1. Postoji li način agregacije podataka o prenaponima u sklopu sustava motrenja koje bi korisniku omogućilo procjenu njihova učinka na izolacijski sustav transformatora?
2. Kako bi korištenje TDSF/FDSF metoda moglo pomoći pri projektiranju novih transformatora otpornijih na nestandardne udare?
3. Može li se, na temelju rezultata, predložiti izmjena ili dopuna postojećih standardnih ispitnih valnih oblika?

A2-05: Karlo Petrović, Mislav Ilijašević, Nikola Škreb, Marijan Bogut, Branimir Ćućić: MJERENJE SPECIFIČNIH GUBITAKA NA BALAMA LIMA I NJIHOVA KORELACIJA S MJERENJIMA NA JEZGRAMA TRANSFORMATORA

Rad opisuje metodu za mjerenje specifičnih gubitaka u feromagnetskom limu baziranu na izravnim mjerenjima nad balama lima te demonstrira primjenu na konkretnim primjerima. Validacija mjerne metode je provedena kroz usporedbu s mjerenjima nad transformatorima izrađenima od prethodno mjerenog lima. Kao nedostatak prezentirane verzija metode ističe se nedovoljno visoka pouzdanost. Ipak, metoda i prezentirana primjena metode su izrazito interesantne s obzirom na praktičnost postupka mjerenja.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko je vremena potrebno za pripremu mjerenja gubitaka u jednoj bali?
2. Prema vašoj procjeni, na koliko bala bi trebalo napraviti mjerenje da bi rezultati bili statistički značajni?
3. Očekujete li primjetno različite rezultate mjerenja specifičnih gubitaka za neku konkretnu bala lima u trenutku kad je bala nova (potpuno namotana) u odnosu na mjerenja u trenutku kad je napola potrošena (npr. u trenutku kad se težina bale smanjila na 50% početne težine)?

A2-06:

Željko Kranjčec, Luka Bučar: TVORNIČKA OBNOVA ENERGETSKOG TRANSFORMATORA 110/6,3 kV, 43 MVA

Rad je pisan sažeto i jasno uzimajući u obzir sve aspekte kod obnove energetskog transformatora. Na primjeru iz prakse objašnjen je motiv i postupak obnove energetskog transformatora proizvedenog 1982. godine. Odluka o obnovi je donesena na osnovi dugih procedura za nabavku novog transformatora. U radu se opisuje kako efikasno obnoviti i produljiti životni vijek transformatora. Dijeljenje navedenog iskustva obnove doprinosi energetskoj zajednici te u tom smislu proširuje znanje. Financijska analiza odnosno opravdanost obnove nije prikazana ovim radom.

Pitanja za diskusiju:

1. U članku se spominje kako će obnovljeni transformator biti siguran u pogonu barem dvostruko dulje vrijeme nego bez obnove. Koliko je bilo procijenjeno vrijeme trajanja pogona bez obnove transformatora? Koliko je vremena potrebno za navedeni postupak obnove?
2. Je li napravljena financijska analiza isplativosti obnove transformatora? Koliko je postotno vrijednost obnove u odnosu na cijenu novog transformatora?

A2-07:

Iva Radečić, Bruno Jurišić, Ivana Ivanović, Marijan Perković, Vedran Jerbić, Marin Schönberger: KLJUČ UČINKOVITOG NADZORA TRANSFORMATORA: MOTRENJE PROVODNIKA U STVARNOM VREMENU

Rad na vrlo jasan i konkretan način obrađuje značaj motrenja provodnika u stvarnom vremenu, što je izuzetno važno za pouzdanost i sigurnost kako transformatora tako i prigušnica. Dan je i prikaz stvarnog slučaja iz mreže, koji potvrđuje učinkovitost sustava. Tema je aktualna i primjenjiva, a prema mišljenju recezanata, rad je dobro strukturiran i tehnički korektan. Dana je i sažeta financijska analiza koja ide u prilog ranom detektiranju kvara te financijski povoljnijoj opciji zamjene neispravnog provodnika. Time je stavljen naglasak na mogućnost sprječavanja ozbiljnih, ponekad i katastrofalnih posljedica. Praćenje stanja provodnika u prvom redu uključuje praćenje promjena kapaciteta i promjena tanđ.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje su glavne prepreke u širenju implementacije sustava za motrenje provodnika na veći broj transformatora u mrežama?
2. Kako sustav za motrenje provodnika reagira na vanjske utjecaje poput ekstremnih vremenskih uvjeta?
3. Na koji način bi se motrenje provodnika moglo integrirati u širi koncept digitalne trafostanice i prediktivnog održavanja?

A2-08:

Matija Romić, Igor Lukačević, Marin Schönberger: DEFEKTAŽA I SANACIJA LOŠEG KONTAKTA NAMOTA TRANSFORMATORA

Referat opisuje jedan stvaran i zanimljiv slučaj zabilježen prilikom dijagnostičkih ispitivanja na 150 MVA energetskom transformatoru. U referatu je opisan način i tijek utvrđivanja i otklanjanja greške na aktivnom dijelu transformatora. Nakon sanacije, ponovljena mjerenja pokazala su da je loš spoj otklonjen, a transformator je vraćen u pogon. Ovaj slučaj potvrđuje koliko je primjena CIGRE metodologije u kombinaciji s kvalitetnim timskim pristupom učinkovita za brzo otkrivanje i rješavanje složenih kvarova. Ujedno naglašava važnost mogućnosti servisiranja i sanacije na lokaciji, kao ključne prednosti u održavanju i upravljanju životnim vijekom transformatora.

Pitanja za diskusiju:

1. Je li uzet uzorak ulja za kromatografiju (DGA) i fizikalno-kemijsku analizu (PCA) ulja na transformatoru nakon izvršenih tvorničkih ispitivanja te prije i nakon dijagnostičkih ispitivanja na terenu?
2. Ukoliko je predmetni transformator bio opremljen monitoring sustavom na terenu, koji parametri su bili praćeni monitoring sustavom te jesu li isti mogli ukazivati na kvar?
3. Je li sanacija na terenu imala dugoročne posljedice za pouzdanost transformatora, i je li planirano naknadno testiranje ili pojačan nadzor? Dodato, treba li se, na temelju ovog iskustva, povećati učestalost dijagnostičkih ispitivanja?

PREFERENCIJALNA TEMA 3: NOVOSTI U RAZVOJU TE NOVE ISPITNE METODE I ALATI

A2-09: Vjenceslav Kuprešanin, Filip Krpan: ANALIZA PROBOJNOG NEHOMOGENOG ELEKTRIČNOG POLJA U ULJNO-PAPIRNOJ IZOLACIJI

Rad obrađuje još uvijek nedovoljno definirano područje evaluacije nehomogenih električnih polja. Rad predstavlja značajno istraživanje s uljno-papirnom izolacijom u kontekstu ispitivanja udarnim naponima, što se rijetko može pronaći u dostupnoj literaturi. Primjenom postojećih (kumulativna i streamer) metoda, nije bilo moguće postići zadovoljavajuće slaganje računskih i stvarnih probojnih polja. Daljnji koraci analize vodili su ka primjeni većeg broja različitih matematičkih modela od kojih većina predstavlja modifikacije uobičajenih metoda za račun faktora sigurnosti uljno-papirne izolacije. Svoje istraživanje u referatu autori temelje na dosad poznatim metodama za kvantifikaciju ovisnosti proboja o geometriji elektroda (kumulativna metoda, napregnuti prostor, streamer metoda, maksimalno polje, nehomogenost polja) što je u skladu s trenutnim trendom u području istraživanja izolacijskih tekućina da se navedene teorije pokušaju ujediniti.

Pitanja za diskusiju:

1. Komentirati implementaciju navedenog baznog istraživanja u primjenjive kriterije za transformatorsku industriju s obzirom na jednostavnost primjene, kvantifikaciju oblika elektroda prisutnih u transformatorima, poopćenje modela na geometrije koje nisu obuhvaćene istraživanjem tj. granične slučajeve, kao i osjetljivost modela na tolerancije u industriji s obzirom na izmjerena standardna odstupanja.
2. Usporediti efektivnu duljinu silnice (karakterističnu za 2D vizualizaciju el. polja) s efektivnom površinom silocijevi (karakterističnu za 3D vizualizaciju el. polja).

A2-10: Mladen Markovic, Zvonimir Jurkovic, Marijan Perkovic, Bruno Jurisic: RASPODJELA UDARNOG PRENAPONA U NEHOMOGENOM NAMOTU ENERGETSKOG TRANSFORMATORA

Opisan je konkretan problem raspodjele prenapona u namotima energetskih transformatora na koji je potrebno obratiti pažnju prilikom projektiranja. Rezultati pokazuju utjecaj geometrije namota na raspodjelu prenapona. U radu se ističe da s povećanjem udjela prepletenih diskova u strukturi namota dolazi do značajnog poboljšanja u linearnosti raspodjele napona. Mjerenja su provedena na različitim konfiguracijama namota. Unatoč poznatoj temi, zanimljiv je rezultat iz kojeg proizlazi da nije nužan potpuno prepleteni namot kako bi se postigla zadovoljavajuća raspodjela prenapona.

Pitanja za diskusiju:

1. U kojoj mjeri bi numerička simulacija mogla precizno predvidjeti raspodjelu prenapona ovakvih konfiguracija?
2. Kako dijelovi namota koji su i dalje prisutni u varijantama 2, 3 i 4 utječu na rezultate mjerenja i kasniju usporedbu s proračunom?

A2-11: Inge Mandarić, Tomislav Pavičić, Fran Topol: UTJECAJ UZEMLJENJA NULTOČKE TRANSFORMATORA NA STRUJE KRATKOG SPOJA I DIMENZIONIRANJE TRANSFORMATORA

U radu je na primjeru realnog energetskog transformatora prikazan izračun struja kratkog spoja u ovisnosti o načinu uzemljenja za dva moguća pogonska slučaja, tj. za jednostrano napajani kratki spoj (s NN strane) te dvostrano napajani kratki spoj (s VN strane). Osim samog izračuna, autori su napravili analizu struja kratkog spoja ovisno o snazi mreže te o izboru impedancije uzemljenja, tj. izboru uzemljenja preko prigušnice ili otpornika. Navedeno je popraćeno proračunima i grafičkim prikazima dok je tematika obrađena na jasan i sažet način.

Pitanja za diskusiju:

1. S obzirom na to da su struje prilikom trolejnog kratkog spoja u pravilu veće od jednofaznog, transformator se najčešće dimenzionira za te struje. Jeste li imali slučajeve gdje su struje jednofaznog kratkog spoja imale veći utjecaj na dimenzioniranje transformatora?
2. U radu je opisana primjena NGR-a za smanjenje struja kratkog spoja. Međutim ovakvo rješenje utječe na prijelazne pojave i prenaponske prilike u mreži. Mogu li autori dati osvrt na ove probleme koji se mogu pojaviti nakon ugradnje NGR-a?

PREFERENCIJALNA TEMA 4: TRANSFORMATOR I OKOLIŠ

D1-11_T3_R86: Krešimir Vlahov, Nebojša Gavrilov, Marina Gapit, Marina Mrđa: LCA I UGLJIČNI OTISAK TRANSFORMATORA

Rad daje uvid u važnost izrade procjene životnog vijeka (LCA, engl. *Life-cycle assessment*), odnosno ugljičnog otiska transformatora te isti predstavlja kao sve češći zahtjev od strane kupaca transformatora. Takav zahtjev se navodi kao posljedica pooštavanja europskih regulativa o zaštiti okoliša i primjene mjera za smanjenje emisija stakleničkih plinova te općenito podizanja svijesti o toj problematici. Navedeni zahtjevi obuhvaćaju ne samo primjenu novih tehnologija i rješenja, već i edukaciju te podizanje svjesnosti po pitanju važnosti praćenja produkcije CO₂ tijekom proizvodnog procesa kako proizvođača tako i samih dobavljača. Kao alat za smanjenje administrativnog opterećenja te povećanje učinkovitosti nameće se digitalna transformacija koja predstavlja ključan korak u modernizaciji poslovanja i povećanju energetske učinkovitosti.

Pitanja za diskusiju:

1. Mislite li da bi digitalna transformacija praćenja proizvodnih procesa mogla postati obavezni dio certifikacije transformatora u idućih 5-10 godina?
2. U kojoj mjeri bi napredna prediktivna analitika i AI mogli optimizirati rad transformatora tijekom životnog vijeka i time smanjiti ukupni ugljični otisak?

D1-12_T3_R167: Ivanka Radić, Božena Odošić, Vlatka Šerkinić, Vedran Maljković: RECIKLIRANE IZOLACIJSKE TEKUĆINE ZA TRANSFORMATORE

Iako je recikliranje izolacijskih mineralnih ulja praksa duga desetljećima, njihovo korištenje u novim transformatorima je tek od nedavno moguće. Uključivanje recikliranih ulja u normu IEC 60296:2020, otvara nove mogućnosti u vidu kružnog gospodarstva te ekologije općenito. Recikliranje je održiva praksa koja pruža ekološke prednosti - smanjenje otpada te doprinosi kružnom gospodarstvu. Uključuje vraćanje izolacijskih i rashladnih svojstava izolacijskih ulja na kraju životnog vijeka, što omogućuje njegovu ponovnu upotrebu. U radu su pojašnjeni različiti postupci recikliranja (re-rafinacija i regeneracija) mineralnih izolacijskih tekućina, njihova svojstva te dosadašnja iskustva u primjeni s osvrtom na ekološke aspekte.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko se, prema dosadašnjem iskustvu, troškovna isplativost regeneracije ulja u praksi odražava na spremnost korisnika da se odluče za tu opciju umjesto zamjene ulja?
2. Ako znamo da re-rafinirano ulje može imati jednaka dielektrična svojstva kao novo, trebamo li početi planirati strategiju održavanja transformatora koja će standardno uključivati regeneraciju umjesto zamjene? Koje prepreke vidite?
3. S obzirom na razlike između re-rafinacije i regeneracije, mislite li da će se industrija dugoročno fokusirati na jedan od ta dva procesa ili će ih paralelno razvijati ovisno o aplikaciji?