
STUDIJSKI ODBOR A3 – OPREMA ZA PRIJENOS I DISTRIBUCIJU

Predsjednik: IGOR PROVČI, dipl. ing. el.

Tajnik: KARLO BINGULA, mag. ing. el.

Stručni izvijestitelj: dr.sc. ALAN ŽUPAN, mag.ing.el.techn.inf.

IZVJEŠĆE STRUČNOG IZVJESTITELJA

1. UVOD

Na studijski odbor A3 – OPREMA ZA PRIJENOS I DISTRIBUCIJU za 17. savjetovanje HRO CIGRE, u zadanom roku, ukupno je prispjelo 10 referata i svi su konačno prihvaćeni od strane recenzenata za objavljivanje. Inicijalno je bilo prijavljeno 11 sažetaka, a za 10 sažetaka su dostavljeni referati. Ukupni broj referata je veći u odnosu na broj referata koji je pristigao za prethodno 16. savjetovanje HRO CIGRE (kada je pristiglo i prihvaćeno 8 referata).

Prispjeli radovi su obuhvatili sve (tri) preferencijalne teme utvrđene od Studijskog odbora A3:

1. **Energetska tranzicija i dekarbonizacija u razvoju opreme za prijenos i distribuciju**
2. **Prilagodba opreme promijenjenim uvjetima rada prijenosne i distributivne mreže**
3. **Napredne prakse upravljanja i održavanja imovine T&D mreže**

Konačan raspored prispjelih 10 referata po preferencijalnim temama koji je ujedno i raspored za diskusiju je sljedeći:

Preferencijalna tema 1: **A3-01_58, A3-02_63, A3-03_138, A3-04_140** (4 referata);

Preferencijalna tema 2: **A3-05_31, A3-06_43, A3-07_60**, (3 referata);

Preferencijalna tema 3: **A3-08_55; A3-09_137, A3-010_247** (3 referata);

Od ukupno četiri pristigla referata za **preferencijalnu temu 1**, prvi prikazuje tranzijentnu simulaciju i dinamički odziv pogonskog vratila na vremenski promjenjiva mehanička opterećenja koja se javljaju usred djelovanja momenta motorno-opružnog pogona na mehanizam prekidačkog dijela SN prekidača, u drugom radu je prikazana UREDBA (EU) 2024/573 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 7. veljače 2024. o fluoriranim stakleničkim plinovima koja predstavlja zakonodavni okvir za upravljanje proizvodnjom, uporabom i emisijama fluoriranih plinova, s posebnim fokusom na SF₆ koji ima široku primjenu u elektroenergetskoj opremi, osim same Uredbe opisana su tehnička rješenja različitih proizvođača, tehničke alternative SF₆ plinu, kao i implementacija različitih tehnologija u praksi. Treći rad opisuje proračun preskočnog napona između elektroda u suhom zraku pod različitim tlakom, te uspoređuje dobivene vrijednosti s eksperimentalnim rezultatima, u četvrtom radu je prikazana analiza izračuna zagrijavanja srednjenaponskog sklopnog bloka 36 kV izoliranog suhim zrakom, pod tlakom, uslijed nazivne struje od 1250 A. Detaljno je opisan računalni model, proračun gubitaka u vodičima, kontaktnim spojevima i kućištu, te je izvršen je proračun porasta temperature na modelu srednjaponskog sklopnog bloka, te je izvršena usporedba izračunatih rezultata s izmjerenim vrijednostima.

Od ukupno tri pristigla referata za **preferencijalnu temu 2**, prvi prikazuje specifičnosti i dizajn naponskih transformatora velike snage sa srednjenaponskim sekundarnim namotom, opisana su ispitivanja na prenesene prenapone, ispitivanje sekundarnog namota udarnim naponom, te ispitivanje parcijalnih izbijanja, drugi rad prikazuje optimizaciju i izazove seizmičke kvalifikacije dvaju kapacitivnih naponskih transformatora nazivnih napona 362 kV i 525 kV testiranih na potresnoj platformi, te njihova modeliranja s aspekta mehaničkih naprezanja tijekom seizmičkih aktivnosti, u trećem radu je prikazan koncept primjene kombiniranih transformatora velike snage, te je pokazan pozitivan utjecaj na dizajn kompaktne transformatorske stanice s obzirom na prednosti samog transformatora koji objedinjuje namjenu kombiniranog mjernog transformatora i naponskog transformatora velike snage.

Od ukupno tri pristigla referata za **preferencijalnu temu 3**, prvi daje prikaz značaja održavanja elektroenergetskih postrojenja kroz detekciju kvarova na četkicama DC motora u GIS prekidačima korištenjem KNN algoritma strojnog učenja. U radu je pokazano je kako se upotrebom strojnog učenja prevenira veći kvar na visokonaponskom prekidaču GIS-a. Uočavanjem degradacije četkica prevenira se prestanak napajanja DC motora motorno-opružnog mehanizma visokonaponskog prekidača GIS-a, a posljedično i prestanak rada samog prekidača, drugi daje prikaz aktivnosti kod izvanrednog remonta prekidnih komora prekidača 400 kV naponske razine, postupak pripreme i organizacije isključenja pozicija na kojima su ugrađeni predmetni prekidači u postrojenju, kao i pregled statistike uzroka kvarova na prekidaču. Treći rad opisuje EMTP model strujnog transformatora koji se može iskoristiti i u svrhu dimenzioniranja zaštitnih jezgara u tranzijentnim prilikama, odzivi modeliranih strujnih mjernih

transformatora uspoređeni su sa mjerenjima provedenim na „stvarnim“ transformatorima pri narinutoj asimetričnoj struji kratkog spoja za razne izvedbe strujnih jezgara.

IZVJEŠĆE O REFERATIMA

PREFERENCIJALNA TEMA 1: ENERGETSKA TRANZICIJA I DEKARBONIZACIJA U RAZVOJU OPREME ZA PRIJENOS I DISTRIBUCIJU

A3-01_58 **Rafael Škrobar, Eduard Plavec, Lara Anić Milić, Petar Gavran** **TRANZIJENTNA SIMULACIJA POGONSKOG VRATILA SREDNJENAPONSKOG PREKIDAČA**

U radu „*Tranzijentna simulacija pogonskog vratila srednjenaponskog prekidača*“ prikazana je tranzijentna simulacija i dinamički odziv pogonskog vratila na vremenski promjenjiva mehanička opterećenja koje se javljaju usred djelovanja momenta motorno-opružnog pogona na mehanizam prekidačkog dijela SN prekidača.

Primjenom metode konačnih elemenata, analizirane su deformacije u određenom vremenu te raspodjela naprezanja unutar spojke prekidača. Također su simulirana i tranzijentna opterećenja pogonskog dijela prekidača i spojke te su pritom analizirane deformacije i raspodjela naprezanja u ovisnosti o vremenu.

Pitanja za diskusiju:

1. Uočava li se mogućnost optimizacije dizajna spojke sukladno dobivenim rezultatima, pošto je najveće naprezanje na samom početku spojke, a pogotovo ako eksperimentalna validacija potvrdi rezultate?
2. Bi li se drugačijim poprečnim presjekom spoja pogonskog vratila i spojke dobila veća površina kontakta (npr. više trokutastih zubi po obodu vratila) dodatno smanjilo naprezanje i ima li to ekonomskog/tehnološkog smisla?

A3-02_63 **Tonći Modrić, Tea Pranjić, Dino Lovrić, Pero Moretić** **TEHNIČKA RJEŠENJA ELEKTRIČNIH RASKLOPNIH UREĐAJA U ODNOSU NA UREDBU (EU) 2024/573.**

U radu „*Tehnička rješenja električnih rasklopnih uređaja u odnosu na Uredbu (EU) 2024/573*“ detaljno je opisana UREDBA (EU) 2024/573 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA od 7. veljače 2024. o fluoriranim stakleničkim plinovima koja predstavlja temeljni zakonodavni okvir za upravljanje proizvodnjom, uporabom i emisijama fluoriranih plinova, s posebnim fokusom na SF₆ koji ima široku primjenu u elektroenergetskoj opremi, osobito u srednjenaponskim i visokonaponskim rasklopnim postrojenjima. Uredba donosi precizno definirane rokove zabrane stavljanja u pogon nove električne rasklopne opreme koja koristi SF₆ ili druge fluorirane stakleničke plinove kao izolacijski ili prekidni medij.

U radu je opisana procjena životnog ciklusa različitih tehnologija korištenjem SF₆ i alternativnih izolacijskih plinova, te tehnička rješenja različitih proizvođača, tehničke alternative SF₆ plinu, kao i implementacija različitih tehnologija u praksi.

Pitanja za diskusiju:

1. Kakav je utjecaj Uredbe 2024/573 na postojeću infrastrukturu?
2. Kakvi su izazovi vezani uz retrofit i nadogradnju postojećih postrojenja?

A3-03_138 **Lara Vdović, Ivan Ladišić, Eva Nastav, Bruno Cimerman, Vedran Ciganović** **IZRAČUN PRESKOČNOG NAPONA U SUHOM ZRAKU – USPOREDBA NUMERIČKE SIMULACIJE I EKSPERIMENTALNIH REZULTATA**

Rad „*Izračun preskočnog napona u suhom zraku – usporedba numeričke simulacije i eksperimentalnih rezultata*“ opisuje proračun preskočnog napona između elektroda u suhom zraku pod različitim tlakom, te

uspoređuje dobivene vrijednosti s eksperimentalnim rezultatima. U radu je detaljno opisan eksperimentalni i računski model.

Kako bi se istražile karakteristike električnog preskoka suhog zraka pod djelovanjem impulsnog napona u električnom polju, osmišljena je i izrađena odgovarajuća eksperimentalna naprava koja je također detaljno opisana u radu. Za potrebe analize korištene su računalne simulacijske metode konačnih elemenata koje omogućuju precizno modeliranje električnog polja između elektroda.

Provedenom analizom i usporedbom numeričkih simulacija s eksperimentalnim rezultatima potvrđena je pouzdanost metode konačnih elemenata (MKE) kao alata za procjenu preskočnog napona u suhom zraku. Dobiveni rezultati pokazali su zadovoljavajuću razinu podudarnosti, osobito u nižim rasponima napona i kod manjih razmaka između elektroda.

Pitanja za diskusiju:

1. Koji je značaj točne procjene preskočnog napona za sigurnost i pouzdanost elektroenergetske opreme pod naponom?
2. Na koji način metoda konačnih elemenata (MKE) doprinosi preciznosti modeliranja električnog polja između elektroda u analizama preskočnog napona?

A3-04_140 Sara Večerić, Ivan Ladišić, Dalibor Gorenc, Antonio Arih ZAGRIJAVANJE SREDNJENAPONSKOG SKLOPNOG BLOKA 36 kV, 1250 A

U radu „*Zagrijavanje srednjenaponskog sklopnog bloka 36 kV, 1250 A*“ je prikazana analiza izračuna zagrijavanja srednjenaponskog sklopnog bloka 36 kV izoliranog suhim zrakom, pod tlakom, uslijed nazivne struje od 1250 A. Detaljno je opisan računalni model, proračun gubitaka u vodičima, kontaktnim spojevima i kućištu, izvršen je proračun porasta temperature na modelu srednjaponskog sklopnog bloka te je izvršene usporedba izračunatih rezultata s izmjerenim vrijednostima.

Za izračun raspodjele struje korišten je FEM programski paket, dok je toplinska analiza provedena pomoću CFD (Computational fluid dynamics) analize.

Rad sistematično prikazuje kako se pomoću računalnih simulacija može unaprijediti razvoj novih modela. Dobivenim rezultatima može se predvidjeti ishod ispitivanja što omogućuje optimiranje konstrukcijskih dimenzija, u ovom slučaju sklopnih blokova. Ovakav pristup omogućava unaprjeđenje pouzdanosti i učinkovitosti navedenih proizvoda kao i osiguranje trajnosti komponenti te sprječavanje mogućnosti kvarova uslijed toplinskih opterećenja.

Pitanja za diskusiju:

1. Na koji način rezultati dobiveni FEM simulacijom doprinose optimiranju konstrukcijskih dimenzija i smanjenju rizika od pregrijavanja u stvarnim radnim uvjetima?
2. Koliko je odstupanje između rezultata FEM simulacije i stvarnih mjerenja te što to govori o točnosti korištenog modela?

PREFERENCIJALNA TEMA 2: PRILAGODBA OPREME PROMIJENJENIM UVJETIMA RADA PRIJENOSNE I DISTRIBUTIVNE MREŽE

A3-05_31 Josip Ivankić, Igor Žiger, Daniel Brezak, Darko Ivanović NAPONSKI TRANSFORMATORI VELIKE SNAGE SA SREDNJENAPONSKIM SEKUNDARNIM NAMOTOM

Naponski transformatori velike snage konceptualno su zamišljeni kao kombinacija energetske, odnosno distributivnih transformatora, te induktivnih naponskih mjernih transformatora, kojima je glavna namjena napajanje vlastite potrošnje trafostanica.

U radu „*Naponski transformatori velike snage sa srednjenaponskim sekundarnim namotom*“ su predstavljene specifičnosti implementacije srednjenaponskih namota u naponske transformatore velike snage. Njihove specifičnosti su prvenstveno dielektričnog tipa, budući da se mora osigurati da

sredjenaponski sekundarni namot ima niske iznose parcijalnih izbijanja, da je otporan na vrlo brze prenapone nastale atmosferskim pražnjenjima ili sklopnim operacijama, te da ograničava prenesene prenapone koji nastaju u prijenosnoj mreži.

U radu je opisan dizajn naponskih transformatora velike snage sa sredjenaponskim sekundarnim namotom, opisana su ispitivanja na prenesene prenapone, ispitivanje sekundarnog namota udarnim naponom, te ispitivanje parcijalnih izbijanja na primjeru 145 kV naponskog transformatora velike snage, nazivne snage 50 kVA, prijenosnog omjera 80,5 : 7,2 kV.

Pitanja za diskusiju:

1. Kada je riječ o sekundarnom naponu, koji je maksimalan napon koji ovakav dizajn transformatora može imati na sekundaru?
2. U čemu se vaša konstrukcija ovakvog tipa transformatora razlikuje od postojećih rješenja?
3. Ima li neke inovacije u hlađenju, izolaciji, regulaciji ili samom načinu rada?

A3-06_43 Ivan Čehil, Matija Vedriš, Igor Žiger, Marin Erceg SEIZMIČKA KVALIFIKACIJA KAPACITIVNIH NAPONSKIH TRANSFORMATORA: INTEGRIRANI PRISTUP OPTIMIZACIJI DIZAJNA UOČI TESTIRANJA

Rad „Seizmička kvalifikacija kapacitivnih naponskih transformatora: integrirani pristup optimizaciji dizajna uoči testiranja“ prikazuje projektiranje, optimizaciju i izazove seizmičke kvalifikacije dvaju kapacitivnih naponskih transformatora nazivnih napona 362 kV i 525 kV testiranih na potresnoj platformi radi postizanja visoke seizmičke kvalifikacije pri PGA 1,0g (Peak Ground Acceleration), u skladu sa zahtjevima norme IEEE 693-2018.

Referat prikazuje primjer iz prakse modeliranja visokonaponskog uređaja s aspekta mehaničkih naprezanja tijekom seizmičkih aktivnosti, proračuna pomoću računalnih FEM alata, rad prikazuje opis laboratorijskih ispitivanja prema iznimno visokim zahtjevima norme, te usporedbu izmjerenih naprezanja s rezultatima proračuna. Iako su zabilježena značajne razlike između izmjerenih vrijednosti i rezultata FEM analize na pojedinim mjernim točkama, autori su naveli potencijalne uzroke kao i smjer daljnjeg istraživanja.

Pitanja za diskusiju:

1. Budući da su uočena neslaganja rezultata proračuna i ispitivanja, vjerujemo da su autori pokušali kroz variranje vrijednosti danih slikom 6. ponoviti FEM proračun u nastojanju da dođu do rezultata bližih izmjerenim vrijednostima. Molimo kratku prezentaciju rezultata?
2. Unatoč većim naprezanjima kod ispitivanja u odnosu na proračun, rezultat ispitivanja je pozitivan. Mogu li autori pojasniti na koji su način osigurali dobar rezultat ispitivanja i ocijeniti koji su elementi konstrukcije time predimenzionirani?
3. Koje su preporuke autora za projektante elektroenergetskih postrojenja i opreme na temu zaštite od potresa? Koji nivo protupotresne sigurnosti definirati, koja ispitivanja ili proračune tražiti i po kojim normama?

A3-07_60 Marijana Nenadić, Igor Žiger, Ivan Crnković, Bruno Jurišić ZNAČAJKE I PRIMJENA KOMBINIRANOG MJERNOG TRANSFORMATORA VELIKE SNAGE

Rad „Značajke i primjena kombiniranog mjernog transformatora velike snage“ opisuje koncept primjene kombiniranih transformatora velike snage, te pokazuje pozitivan utjecaj na dizajn kompaktne transformatorske stanice s obzirom na prednosti samog transformatora koji objedinjuje namjenu kombiniranog mjernog transformatora i naponskog transformatora velike snage.

U radu je detaljno opisana konstrukcija kombiniranog transformatora velike snage, njegov dizajn, skup rutinskih, tipskih i specijalnih ispitivanja, kojima se provjeravaju sve bitne karakteristike transformatora, te

je dan opis same primjene u kompaktnim transformatorskim stanicama i prednosti same primjene. Primjena ovog rješenja smanjuje količinu utrošenog materijala što dovodi do smanjenja ugljičnog otiska.

U svrhu pokazivanje funkcionalnosti novostvorenog transformatora obavljena su osim rutinskih i tipskih ispitivanja i specijalna ispitivanja na prototipnoj jedinici, nazivnog naponskog nivoa 123 kV i nazivne snage 50 kVA jednofazno.

Pitanja za diskusiju:

1. Kako promjena primarnog napona utječe na klasu točnosti?
2. U radu je spomenuti kombinirani naponski transformator velike snage nazivnog naponskog nivoa 123 kV i nazivne snage 50 kVA jednofazno, kojeg najvišeg napona se proizvode kombinirani naponski transformator velike snage i kolika je njihova snaga?

PREFERENCIJALNA TEMA 3: NAPREDNE PRAKSE UPRAVLJANJA I ODRŽAVANJA IMOVINE T&D MREŽE

A3-08_55 **Lara Anić Milić, Eduard Plavec, Rafael Škrobar, Luka Abramović**
DETEKCIJA KVARA DC MOTORA MOTORNO-OPRUŽNOG POGONSKOG MEHANIZMA 145 kV PREKIDAČA GIS-a UPOTREBOM STROJNOG UČENJA

Rad „*Detekcija kvara DC motora motorno-opružnog pogonskog mehanizma 145 kV prekidača GIS-a upotrebom strojnog učenja*“ obrađuje aspekt održavanja elektroenergetskih postrojenja kroz detekciju kvarova na četkicama DC motora u GIS prekidačima korištenjem KNN algoritma strojnog učenja. U radu su jasno objašnjene komponente GIS-a, funkcija motorno-opružnog mehanizma i fizikalna pozadina kvara. Korištenje KNN algoritma je jasno objašnjeno, obrađene su ključne komponente, mjere udaljenosti, vrijednost k , te normalizacija podataka.

U radu je pokazano je kako se upotrebom strojnog učenja prevenira veći kvar na visokonaponskom prekidaču GIS-a. Uočavanjem degradacije četkica prevenira se prestanak napajanja DC motora motorno-opružnog mehanizma visokonaponskog prekidača GIS-a, a posljedično i prestanak rada samog prekidača GIS-a.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje su alternative monitoringu četkica i zašto je odabran K-Nearest Neighbor (KNN) algoritam za detekciju kvarova na DC motoru?
2. Kako bi performanse klasifikacije izgledale kada bi se primijenili drugi algoritmi strojnog učenja (npr. Random Forest, SVM, ili neuralne mreže), uz isti ili veći set podataka?
3. Kako bi metoda funkcionirala u realnom vremenu i da li postoje tehničke prepreke za implementaciju?

A3-09_137 **Ilija Crnogorac, Ivan Mijić, Igor Provči**
ZAMJENA KOMORA NA 400 kV PREKIDAČIMA U TS ERNESTINOVU

U radu „*Zamjena komora na 400 kV prekidačima u TS Ernestinovo*“ se opisuje proces izvanrednog remonta prekidnih komora prekidača 400 kV naponske razine.

Starenje prekidača je svojstvo prekidača na koje utječu brojni faktori, od kojih jedan od većih utjecaja imaju struje kvarova koje prekidač prekida. Stoga bi se za detaljniju analizu nedostataka i kvarova morali analizirati statistički podatci o broju operacija, kao i vrijednosti struja koje su prekidane pri tim operacijama. Velike struje kratkih spojeva uvelike opterećuju sve dijelove prekidača, a posebno dijelove koji se nalaze u prekidnim komorama (promatranih) prekidača.

U radu su je opisan: pregled redoslijeda radova na remontu prekidnih komora od demontaže do ponovnog puštanja u pogon, prikazani su detektirani nedostaci uočeni tijekom radova na remontu, opisano je stanje 400 kV prekidača nakon remonta, te način i rješenja koja su primijenjena kako se takvi nedostaci više ne

bi pojavljivali. U radu je opisan i postupak pripreme resursa i organizacije isključenja VP 400 kV na kojima su ugrađeni predmetni prekidači u postrojenju.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li su poznati uvjeti u mreži u trenutku havarije predmetnog prekidača, odnosno da li je do havarije došlo kod sklopne operacije zbog APU-a i sl. ili u normalnom pogonu?
2. Koji su parametri mjerodavni kod VN prekidača za održavanje prema stanju (Condition Based Maintenance – CBM), kako se ti parametri mogu izmjeriti i da li proizvođači imaju preporuke i referentne vrijednosti prema kojima bi se odredila potreba za prijevremenim pojačanim održavanjem?

A3-10_247 Frane Jelić, Krešimir Koprivec, Josip Ivankić, Marta Živković
MODELIRANJE TRANZIJENTNOG ODZIVA ZAŠTITNIH JEZGARA STRUJNIH TRANSFORMATORA

U radu „*Modeliranje tranzijentnog odziva zaštitnih jezgara strujnih transformatora*“ kvalitetno je i detaljno predstavljen EMTP model strujnog transformatora koji se može iskoristiti i u svrhu dimenzioniranja zaštitnih jezgara u tranzijentnim prilikama, te je izvršena provjera njihovog odziva.

Odzivi modeliranih strujnih mjernih transformatora uspoređeni su sa mjerenjima provedenim na „stvarnim“ transformatorima pri narinutoj asimetričnoj struji kratkog spoja za razne izvedbe strujnih jezgara. Dobiveni rezultati u usporedbi s izmjerenim vrijednostima i razlikuju se <1 %.

Važnost prikazanog modela je njegova univerzalna primjenjivost, gdje se uz minimalne potrebne parametre koji su specifični za pojedine strujne jezgre ovaj model omogućuje univerzalnu primjenu za različite analize studije i simulacije prijelaznih stanja u mreži sa svrhom dobivanja informacije kakav se odziv može očekivati.

Pitanja za diskusiju:

1. Jesu li autori članka izvršili usporedbu dobivenih rezultata izmjerenih vrijednosti i izračunatih vrijednosti ovisno o teretu sekundara strujnog mjernog transformatora ? Ukoliko jesu, kolike su razlike?
2. Planiraju li autori izradu modela kombiniranog mjernog transformatora u programskom paketu EMTP ? Ukoliko da što očekuju kao najveće izazove prilikom modeliranja?