

## **C4-00**

### **GRUPA C4: TEHNIČKE PERFORMANSE EES**

#### **IZVEŠTAJ STRUČNOG IZVESTIOCA**

**Z. STOJKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd**

#### **SRBIJA**

U okviru Studijskog komiteta C4 – Tehničke performanse EES za XXIX Savetovanje CIGRE Srbije predložene su tri preferencijalne teme:

1. Prenaponi i koordinacija izolacije.
2. Elektromagnetska kompatibilnost i elektromagnetska polja.
3. Kvalitet električne energije (viši harmonici, fluktuacija napona, naponske nesimetrije, regulativa, kvalitet u deregulisanim uslovima rada elektroenergetskih sistema).

Studijski komitet C4 imenovao je sledeće recenzente: dr Milana Savića, redovnog profesora, dr Vladimira Katića, redovnog profesora, dr Zlatana Stojkovića, redovnog profesora, dr Petra Vukelju, naučnog savetnika, Zorana Nedeljkovića, dipl. ing. el. i Jovana Mrvića, dipl. ing. el.

Za stručnog izvestioca Studijski komitet C4 imenovao je dr Zlatana Stojkovića, redovnog profesora Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

U predviđenom roku za prijem radova pristiglo je ukupno 11 radova. Nakon recenzija i diskusija na Studijskom komitetu prihvaćeno je svih 11 radova u vidu referata.

Studijski komitet je radove svrstao po preferencijalnim temama i to: 4 u prvu, 5 u drugu i 2 u treću preferencijalnu temu.

#### **Referat C4-01**

Simulacioni modeli preskočne karakteristike izolacije voda za analizu povratnog preskoka

Autori: Dragan Milojević, Saša Stojković

U radu je analiziran uticaj modelovanja preskočne karakteristike izolacije nadzemnog voda na oblik naponskog talasa na elementima opreme u transformatorskoj stanici 110/35/10 kV/kV/kV pri povratnom preskoku. Simulacioni model, definisan pomoću softverskog alata ATP-EMTP, trofazni je i relativno detaljan. Razvijeni su modeli preskočne karakteristike izolatorskog lanca sa zaštitnom armaturom poznati kao “volt-sekundna karakteristika”, “model razvoja lidera” i “metod površine”. Oni su opisani, upoređeni i analizirani za nestandardni naponski talas, kakav je talas pri povratnom preskoku.

Pitanja za diskusiju:

1. Autori u radu koriste klasičan model atmosferskog pražnjenja amplitude struje od 121 kA, strmine 43.3 kA/ $\mu$ s i trajanja začelja od 50  $\mu$ s. Zašto je u radu korišćen model linearno rastućeg čela i linearno opadajućeg začelja TYPE 13, kada je u ATP-u raspoloživa čitava paleta modela opisanih eksponencijalno rastućim i opadajućim funkcijama TYPE 15 (Surge, Heidler, Standler, Cigre), koji tačnije opisuju pojavu?
2. S obzirim da se postojanje uslova za preskok (po bilo kom modelu) računa u svakom koraku proračuna, koliki korak proračuna je korišćen i kakav je njegov uticaj na prezentovana razmatranja?
3. Koji model nadzemnog voda je korišćen u radu i kakav je njegov uticaj?

#### **Referat C4-02**

Prenaponi pri operacijama vakuumskih sklopnih aparata u TS 35 kV/ 20 kV/6 kV "Kalenić"

Autori: Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić, Dragan Ristivojević, Nenad Stevanović

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja sklopnih prenapona prilikom sklopnih operacija vakuumskim prekidačima u mrežama 6 kV i 24 kV za napajanje rudarske mreže na površinskim kopovima. Prikazane su srednje i maksimalne vrednosti sklopnih prenapona u pojedinim konfiguracijama za broj operacija koji je varirao od 15 do 39, osim u slučaju uključenja na zemljospoj kada je bilo samo 3 manipulacije. Dobijeni su tipični oblici napona koji ukazuju na višestruka ponovna paljenja luka kod isključenja, odnosno ponovne proboje kod uključenja. Nisu konstatovani visoki prenaponi, ali je zapažena pojava talasa velikih strmina, što može da ugrozi izolaciju namotaja.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li postoji mogućnost da se proveri vrednost struje sečenja vakuumskih prekidača? Većina proizvođača danas garantuje struju sečenja manju od 5 A.
2. Da li je konstatovano mesto zemljospoja i razlog njegovog nastanka pri uključenju u konfiguraciji E?

#### **Referat C4-03**

Naponski transformatori i pojava ferorezonanse u mrežama sa izolovanom neutralnom tačkom

Autori: Petar Vukelja, Radomir Naumov, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić

U radu su autori dali kratak pregled mogućih tipova ferorezonantnih pojava koje se pojavljuju u srednjenaponskim mrežama, sa ilustracijama snimljenih pojava na osnovu velikog broja eksperimentalnih istraživanja u industrijskim mrežama 6 kV, kao i distributivnim mrežama 10 kV i 35 kV. Autori komentarišu uticaj izbora naponskih mernih transformatora, odnosno njihovog naponskog faktora koji mora da u izolovanim mrežama bude 1.9, sa stanovišta termičkog preopterećenja i mogućnosti nastanka ferorezonanse. Zatim se sistematski predlažu moguća rešenja za eliminisanje ferorezonanse primenom ugradnje dodatnih otpornika u kola induktivnih naponskih transformatora. Daju se tipične vrednosti otpornika koje treba ugraditi da bi se eliminisala ferorezonansa.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li se otpornici za prigušenje ferorezonanse sistematski koriste u industrijskim i distributivnim mrežama, ili se to vrši posle pojave smetnji?
2. Na koji način se došlo do krivih na slici 8? Da li su te krive rezultat rada autora ili su uzete iz literature?

#### **Referat C4-04**

Procena stanja metaloksidnog odvodnika prenapona primenom metoda zasnovanih na analizi struje odvođenja pri radnom naponu mreže

Autori: Zoran Stojanović, Zlatan Stojković

U radu je razmatrana procena stanja metaloksidnog odvodnika prenapona (MOP) primenom metode zasnovane na analizi struje odvođenja pri radnom naponu mreže. Upoređene su sledeće varijante ove metode: 1) Metoda harmonijske analize ukupne struje odvođenja; 2) Metoda na bazi trećeg harmonika rezistivne komponente struje odvođenja; 3) Metoda gubitaka aktivne snage; 4) Metoda kompenzacije kapacitivne komponente struje odvođenja; 5) Metoda direktnog određivanja maksimalne vrednosti rezistivne komponente struje odvođenja. Analizirana je mogućnost primene pojedinih metoda u zavisnosti od kolebanja radnog napona MOP-a. Pri tome je korišćena uprošćena ekvivalentna šema MOP-a sa nelinearnim elementom modelovanim stepenom funkcijom. Svi proračuni sprovedeni su primenom programa *MATLAB*.

Pitanja za diskusiju:

1. Prema Tabeli 1, navedene vrednosti indikacione struje  $I_{I3}$  kod prve metode su manje kod novog odvodnika (a ne veće kao što je u radu navedeno). Da li i dalje stoji konstatacija da se pomenute metode ne mogu koristiti za monitoring i dijagnostiku MOP? Isto se odnosi i na metodu 2.
2. Metoda na bazi trećeg harmonika rezistivne komponente struje "curenja" je preporučena u pojedinim IEC dokumentima. Kakav je komentar o tome?
3. U svakom trenutku poznata je efektivna vrednost napona na sabirnicama u postrojenjima 35 kV i više. Koliko je merenjima konstatovana razlika u efektivnoj vrednosti na krajevima MOP-a u odnosu na efektivnu vrednost napona na sabirnicama? Da li bi ovo trebalo da bude razlog za ocenu o (ne)upotrebljivosti pojedinih metoda kako je to istaknuto u radu?

#### **Referat C4-05**

Raspodela električnog polja i indukovanih struja u ljudskom telu u blizini 400 kV dalekovoda

Autori: Aleksandar Ranković, Milan S. Savić

U ovom radu razmatran je efekat indukovanja električne struje u ljudskom organizmu u prisustvu električnog polja 400 kV dalekovoda. Za proračun električnog polja dalekovoda primenjena je metoda fiktivnih izvora (Charge Simulation Method – CSM). U cilju smanjenja greške pri proračunu električnog polja u neposrednoj blizini čoveka, za model čoveka primenjena je modifikovana metoda fiktivnih izvora. Vrednost indukovane struje određena je na osnovu proračunate vrednosti električnog polja na površini ljudskog tela, uz uvažavanje elektromagnetnih karakteristika samog tela (električna provodnost, električna i magnetna

propustljivost). Dobijene računске vrednosti indukovane struje upoređene su sa maksimalnim dozvoljenim vrednostima propisanim standardima.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li su autori imali uvid u mogućnost primene nekog od aktuelnih 3D programskih alata za potrebe ovih proračuna? Da li su eventualna ograničenja ovih alata, između ostalog, razlog za formiranje sopstvenog programskog modela?
2. U CSM modelu telo čoveka je modelovano sferom za glavu, a ostali delovi su modelovani u obliku cilindara različitog prečnika. Da li su autori sproveli analizu osetljivosti rezultata proračuna u funkciji dimenzija tela čoveka?

#### **Referat C4-06**

Merenje jačina električnog polja i magnetske indukcije u razvodnim postrojenjima 400 kV, 220 kV i 110 kV

Autori: D. Hrvić, M. Petrović, V. Kostić, A. Pavlović

U radu je dat prikaz izmerenih vrednosti jačina električnog polja i magnetske indukcije na karakterističnim mestima u razvodnim postrojenjima 400 kV, 220 kV i 110 kV, kao i na prostoru oko komandnih zgrada i u komandnim zgradama, u okviru velikog broja transformatorskih stanica 400/X kV, 220/X kV i 110/X kV elektroenergetskog sistema Srbije. Merenja i tumačenje dobijenih rezultata izvršena su prema postojećim međunarodnim standardima i preporukama kojima je regulisana bezbednost pri izlaganju ljudi električnom i magnetskom polju niske frekvencije.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li su autori na osnovu niza izmerenih vrednosti izvršili upoređenje dobijenih rezultata sa dostupnim rezultatima ostalih elektroprivrednih organizacija?
2. U slučaju potrebe koje mere bi autori predložili u cilju regulisanja bezbednosti pri izlaganju ljudi električnom i magnetskom polju niske frekvencije.

#### **Referat C4-07**

Računarske provere raspodele magnetne indukcije u blizini energetskog transformatora 10 kV / 0.4 kV bez i sa magnetnim ekranom

Autori: Marko Šorgić, Zoran Radaković, Milan Savić, Ratko Kovačić, Zoran Vujević

U radu se prikazuju istraživanje i razvoj koji su sprovedeni u postupku definisanja elektromagnetnog ekrana iznad transformatorske stanice sa suvim transformatorima bez kućišta snage 1600 kVA, 10 kV / 0.4 kV, gde dozvoljena vrednost magnetne indukcije u prostoru iznad transformatora iznosi samo 3.75  $\mu$ T. U radu se prikazuju sprovedeni proračuni dvodimenzionalnog magnetnog polja i, na bazi njih, projektovan i izveden magnetni ekran.

Pitanja za diskusiju:

1. Koje su otežavajuće okolnosti za primenu programa za trodimenzionalno modelovanje magnetnih polja?
2. Da li je predložena mreža na slici 9 optimalna sa aspekta tačnosti i trajanja proračuna i na koji je način formirana?

#### **Referat C4-08**

Eksperimentalna istraživanja magnetnog polja i magnetnog ekrana u prostoru iznad energetskih transformatora u cilju zaštite okoline

Autori: Milan Savić, Zoran Radaković, Ratko Kovačić, Marko Šorgić

U radu je opisano magnetsko polje oko energetskog transformatora u objektu. Jačina magnetske indukcije oko transformatora može da bude značajna. Prisustvo ploča od feromagnetskog materijala oko transformatora smanjuje jačinu magnetskog polja. U radu je opisano dejstvo ploča od feromagnetskog materijala. Za dobijanje podataka o jačini magnetske indukcije oko transformatora razvijene su i urađene merne sonde i izvršena je njihova kalibracija. Merenja sa njima su urađena oko transformatora bez gornjeg jarma, kompletnog transformatora i jednofazne prigušnice.

Pitanja za diskusiju:

1. Kolike su greške merenja jačine magnetske indukcije sa urađenim sondama?
2. Koliki je uticaj feromagnetskih ploča na smanjenje jačine magnetske indukcije oko transformatora u objektu? Kolike su dimenzije ploča i na kojim mestima u objektu ih je potrebno montirati?

#### **Referat C4-09**

Etaloniranje merila gustine naizmjeničnog magnetskog polja

Autori: Dragana Naumović Vuković, Aleksandar Pavlović, Slobodan Škundrić, Vojin Kostić

U radu je prikazano etaloniranje merila gustine naizmjeničnog magnetskog polja tip EFA-300 u Laboratoriji za etaloniranje i ispitivanje Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla“. Opisani su: metoda etaloniranja, primenjeni etalon magnetskog polja i merilo magnetskog polja koje je etalonirano. Primenjeni etalon je Helmholtcov kalem. Prikazan je postupak etaloniranja i dati su rezultati etaloniranja merila sa pridruženom mernom nesigurnošću i obezbeđenom mernom sledljivošću. Etaloniranje je pokazalo da su greške merenja magnetskog polja merilom EFA-300 u granicama greške merenja (do 3% od merene vrednosti) deklarisanim od strane proizvođača.

Pitanja za diskusiju:

1. Merilo EFA-300 je deklarirano od strane proizvođača kao analizator magnetskog polja. Koje ga funkcionalne karakteristike određuju kao analizatora magnetskog polja?
2. Da li su stečena iskustva u etaloniranju merila gustine naizmjeničnog magnetskog polja primenljiva i kod etaloniranja jačine električnog polja?

#### **Referat C4-10**

Numerički i eksperimentalni postupak određivanja parametara konzuma u frekvencijskom domenu

Autori: Dragan Predić, Zlatan Stojković, Axel Holst

U radu su prikazani osnovni modeli distributivnog konzuma i proračun parametara modela za osnovni i više harmonike. Posmatran je konzum TS 35/10 kV „Zaječar I“. Prikazani su rezultati merenja viših harmonika struje i napona na naponskom nivou 10 kV za dva karakteristična pogonska stanja, sa uključenom i sa isključenom kondenzatorskom baterijom za popravku faktora snage. Na osnovu obavljenih merenja izračunate su vrednosti parametara mreže i generisane struje za peti i sedmi harmonik. Primenom programa EMTP/ATP formiran je model distributivne mreže napajane iz TS 110/35 kV „Zaječar 1“ na osnovu koga su izračunate vrednosti petog i sedmog harmonika struje i napona. Dobijene vrednosti upoređene su sa izmerenim vrednostima.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko raste nivo složenosti modelovanja mreže ako se kod potrošača pojavljuju i ozbiljni izvori viših harmonika sa filterima za njihovo eliminisanje?
2. Objasniti kako se korišćenjem prikazanog modela (softvera) mogu predvideti slučajevi rezonancije na sabirnicama industrijskih potrošača.

#### **Referat C4-11**

Uticaj industrijskih indukcionih peći na kvalitet napona i povećanje gubitaka u distributivnoj mreži

Autori: A. Jović, Dobrivoj Stojanović

U radu su prikazani rezultati merenja parametara kvaliteta napona u distributivnoj mreži sa priključenim izrazito nelinearnim potrošačima – indukcionim pećima. Rezultati su analizirani savremenim metodama i alatima i upoređeni sa vodećim standardima. Slična merenja su sprovedena u Srbiji u ranijem periodu na različitim lokacijama sa sličnim tipovima potrošača. Rezultati su bili takođe slični – izrazito velika izobličenja talasnih oblika struje, ali mali uticaj na deformacije napona, odnosno na ostale potrošače. Međutim, analiza uticaja na potrošače unutar livnice ili spoljnje, koji se napajaju sa istih sabirnica, tek treba da se uradi.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li autori mogu da uporede i komentarišu rezultate sopstvenih i ranijih sličnih istraživanja, koja su dostupna u radovima sa konferencija ili u knjigama?
2. Kako se objašnjava relativno nizak nivo izobličenja napona u mreži?
3. Da li su u livnici preduzete neke mere zaštite od viših harmonika i ako jesu, koje su to?