



## **STUDIJSKI ODBOR C4 – TEHNIČKE ZNAČAJKE EES-a**

Predsjednik: Prof. dr. sc. PETAR SARAJČEV, dipl. ing.

Tajnik: Prof. dr. sc. VIKTOR MILARDIĆ, dipl. ing.

Stručni izvjestitelj: Prof. dr. sc. PETAR SARAJČEV, dipl. ing.

## **IZVJEŠĆE STRUČNOG IZVJESTITELJA**

### **UVOD**

Za 15. savjetovanje HRO CIGRÉ prispjelo je, za studijski odbor C4-Tehničke značajke elektroenergetskog sustava, ukupno 8 radova.

Preferencijalne teme za 15. savjetovanje HRO CIGRÉ su:

- 1. Sustavi zaštite od munje, prenaponska zaštita, koordinacija izolacije vodova, postrojenja i novih izvora, izolacija u uvjetima onečišćenja**
- 2. Kvaliteta električne energije,**
- 3. Elektromagnetska kompatibilnost,**
- 4. Sustavi za lociranje munja i njihovo praćenje u realnom vremenu,**
- 5. Stabilnost EES-a, sigurnost sustava, uključenje novih izvora poput vjetroelektrana i solarnih elektrana te kogeneracijskih postrojenja,**
- 6. Analiza privremenih, sklopnih i atmosferskih prenapona, odvodnici prenapona**
- 7. Napredni alati i tehnike za analizu značajki EES-a.**

Podjela radova prema preferencijalnim temama:

Preferencijalna tema 1: Nema,

Preferencijalna tema 2: C4-01, C4-02,

Preferencijalna tema 3: Nema,

Preferencijalna tema 4: C4-03,

Preferencijalna tema 5: C4-04, C4-05,

Preferencijalna tema 6: C4-06, C4-07,

Preferencijalna tema 7: C4-08.

### **IZVJEŠĆE O RADOVIMA**

**PREFERENCIJALNA TEMA 1: Sustavi zaštite od munje, prenaponska zaštita, koordinacija izolacije vodova, postrojenja i novih izvora, izolacija u uvjetima onečišćenja**

**Nema prijava**

## **PREFERENCIJALNA TEMA 2: Kvaliteta električne energije**

**C4-01**            **Martina Kutija, Luka Pravica**

### **OSVRT NA DOZVOLJENE RAZINE VIŠIH HARMONIKA STRUJE I NAPONA U SREDNJENAPONSKOJ MREŽI U RH\***

U ovom radu dan je osvrt na dozvoljene razine harmoničkih izobličenja struje i napona u srednjenaponskoj mreži u Republici Hrvatskoj. Detaljno je pojašnjena važeća regulativa u RH vezana uz dozvoljenu razinu harmoničkog izobličenja struje i napona koje se moraju pridržavati korisnici mreže i operatori sustava. Istaknuta je važnost korištenja prema IEC TR 61000-3-6 za specifikaciju zahtjeva za priključak postrojenja na srednjenaponsku mrežu.

#### **Pitanja za diskusiju:**

**C4-02**            **Mladen Modrovčić, Bruno Kurtušić**

### **KVALITETA OPSKRBE ELEKTRIČNOM ENERGIJOM I NAČIN UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE 10(20) KV MREŽE**

Referat opisuje i stavlja u međusobnu ovisnost zahtjeve na vrstu i odabir načina uzemljenja neutralne točke 10(20) kV elektroenergetske mreže s obzirom na kvalitetu opskrbe električnom energijom. Posebno se detaljno razmatraju parametri kvalitete opskrbe električnom energijom koji opisuju pouzdanost napajanja i kvalitetu napona te se detaljnije analizira utjecaj odabira načina uzemljenja neutralne točke 10(20) kV mreže na ove parametre kvalitete opskrbe električnom energijom.

#### **Pitanja za diskusiju:**

1. Analiza prolaznog i intermitirajućeg karaktera zemljospoja te granične struje samogašenja, u smislu koristi koje isti donose, trebala bi uvažiti i karakter distribucijske mreže (dominantno nadzemna ili kabela mreža). Isto se odnosi i na dozvoljeno vrijeme trajanja (isključenja) zemljospoja i pojavu APU-a.
2. Autori u radu zastupaju tezu da njihovi rezultati mjerenja "navode na zaključak da se u izoliranim mrežama s relativno malim strujama dozemnih spojeva može produljiti vrijeme prorade zaštite od dozemnih spojeva na dulje vrijeme". Mogu li autori detaljnije elaborirati ovaj zaključak.

## **PREFERENCIJALNA TEMA 3: Elektromagnetska kompatibilnost**

**Nema prijava.**

## **PREFERENCIJALNA TEMA 4: Sustavi za lociranje munja i njihovo praćenje u realnom vremenu**

**C4-03** Viktor Milardić, Nina Stipetić, Božidar Filipović-Grčić, Bojan Franc, Dominik Miloš

### **RAZVOJ SUSTAVA ZA MJERENJE PARAMETARA UDARA MUNJA U LOPATICE VJETROAGREGATA**

Unatoč postojećim sustavima zaštite od munje (SZM) vjetroagregata (VA), događaju se štete uzrokovane direktnim udarima munja u VA. Kako bi se štete karakterizirale, potrebno je poznavati parametre struje munje: amplitudu, strminu, preneseni naboj i specifičnu energiju. U teoriji, svaka šteta na VA povezana s udarom munje trebala bi biti uzrokovana prekomjernim iznosom jednog ili više ovih parametara, ili neodgovarajućim dizajnom i nepravilnim održavanjem SZM-a. Također je moguće da postojeće norme na kojima se temelji dizajn SZM-a ne uzimaju u obzir stvarnu prirodu struje munje kojima su VA izloženi. Temeljem ove aktualne problematike, predložen je i odobren projekt čiji je cilj razvoj sustava za mjerenje u svrhu određivanja preciznijih lokalnih parametara munja koje pogađaju lopatice VA. U radu je predstavljen projekt i njegovi specifični ciljevi.

#### **Pitanja za diskusiju:**

3. Da li će predviđeni sustav za mjerenje parametara struje munje moći izmjeriti parametre sva tri tipa struje uzlaznih udara?
4. Obično se u literaturi koja se bavi tranzijentnom analizom uzemljivača smatra da se frekvencijski raspon struja munje proteže do razine od 10 MHz. Da li dostupni Rogowski svitci mogu adekvatno pokriti frekvencijski raspon do ove razine?
5. Kako se namjeravaju uspoređivati izmjereni parametri struje munje (s obzirom da sustavi za lociranje udara munje (npr. LINET) ne mogu razlikovati uzlazne od silaznih udara), te kako uzeti u obzir multiplicitet (kod silaznih udara)?

## **PREFERENCIJALNA TEMA 5: Stabilnost EES-a, sigurnost sustava, uključenje novih izvora poput vjetroelektrana i solarnih elektrana te kogeneracijskih postrojenja**

### **C4-04 Zvonimir Popović, Deni Prhal, Franjo Sukser and Andrija Bilek IZAZOVI I POGONSKA ISKUSTVA KOD PRELASKA ZONE B2 HEP ODS ELEKTRE BJELOVAR NA 20 KV NAPONSKU RAZINU**

Nakon višegodišnjih pripremnih aktivnosti i kontinuiranog ulaganja u elektroenergetsku distribucijsku mrežu, u Elektri Bjelovar je započeo postepeni prelazak sredjenaponske mreže s 10 kV na 20 kV pogonski napon.

Posebnost u dosadašnjim iskustvima prelaska na 20 kV pogonski napon u HEP ODS-u, predstavlja činjenica da je Elektra Bjelovar na pogonski napon 20 kV prešla isključivo s kabelskom mrežom na području grada Bjelovara. U prvoj fazi prelaska obuhvaćene su napojne točke za ključne industrijske korisnike s najvećim snagama, dok se u preostalim fazama planira potpuni prijelaz gradske kabelske mreže na 20 kV napon.

U ovom radu su opisana praktična iskustva s pripremnim aktivnostima i prijelazom druge faze (etapa B.2) s 10 na 20 kV pogonski napon u ovom distribucijskom području.

#### **Pitanja za diskusiju:**

1. S obzirom na strateški cilj razvoja SN mreže HEP ODS-a i korištenja tri naponske razine: 110 kV, 20 kV i 0,4 kV, koji su preduvjeti za ukidanje transformacije 35/20 kV na promatranom području Elektre Bjelovar?
2. Prikažite troškove (kao jedan od kriterija AHP metode) prijelaza na 20 kV naponsku razinu.
3. Kolike su kapacitivne struje zemljospoja u 20 kV mreži priključenoj na TS 110/20 kV Mlinovec i je li razmatrano uzemljenje neutralne točke na neki drugi način, npr. preko kompenzacijske prigušnice?

### **C4-05 Tomislav Baškarad, Ninoslav Holjevac and Igor Kuzle ANALIZA UTJECAJA PARAMETARA ELEKTRANA NA ZNAČAJKE FREKVENCIJSKOG ODZIVA EES-A**

Najvažnije značajke frekvencijskog odziva elektroenergetskog sustava (EES) su: brzina promjene frekvencije (engl. ROCOF - rate of change of frequency), te maksimalno odstupanje frekvencije od nazivne vrijednosti (engl. frequency nadir) tj. najniža/najviša vrijednost frekvencije koja se pojavi nakon poremećaja u sustavu. Dok je utjecaj na početni ROCOF uglavnom određen ukupnom konstantom tromosti sustava i veličini poremećaja koji se dogodi, na vrijednost maksimalnog odstupanja frekvencije od nazivne vrijednosti, osim navedenih parametara, uvelike utječu i sljedeći parametri: postavke statičnosti turbinskih regulatora, ograničenje snage rezerve, udio termoelektrana, hidroelektrana kao i obnovljivih izvora energije (OIE). Fokus ovog rada je na matematičkoj formulaciji jednadžbe koja povezuje parametre sustava s ROCOF-om te vrijednošću maksimalnog odstupanja frekvencije od nazivne vrijednosti. Takva jednadžba će omogućiti, uz zadovoljavajuću točnost, jednostavno analiziranje utjecaja parametara elektrana na značajke frekvencijskog odziva EES-a.

#### **Pitanja za diskusiju:**

1. Na koji način i u kojoj mjeri parametri digitalnih turbinskih regulatora (u prvom redu statičnost) mogu pomoći pri regulaciji frekvencije odnosno frekvencijskom odzivu?
2. Koliki može biti realni doprinos obnovljivih izvora energije (OIE) frekvencijskom odzivu s obzirom na problematiku potrebne snage rezerve?

## **PREFERENCIJALNA TEMA 6: Analiza privremenih, sklopnih i atmosferskih prenapona, odvodnici prenapona**

**C4-06          Petar Sarajčev, Mario Janković**

### **ANALIZA VJEROJATNOSTI NASTUPA POVRATNOG PRESKOKA NA VISOKONAPONSKIM PRIJENOSNIM VODOVIMA**

Statistička vjerojatnost nastupa povratnog preskoka na visokonaponskim (VN) nadzemnim vodovima predstavlja važan faktor u osiguranju kontinuiteta neprekinutog pogona dalekovoda. Određivanje spomenute vjerojatnosti provodi se najčešće korištenjem specijaliziranih programskih paketa (engl.: ElectroMagnetic Transients Program, EMTP) i Monte Carlo simulacije. Ovo iziskuje vrlo dugotrajan proračun. U ovom radu se predstavlja nova statistička metoda proračuna vjerojatnosti nastupa povratnog preskoka, temeljena na korištenju EMTP-a, ali bez potrebe za Monte Carlo simulacijama. Predložena metoda, naime, razdvaja statističku raspodjelu parametara struja munje od simulacija nastupa povratnih preskoka u programu EMTP, primjenom Gaussove kopule i krivulje opasnih parametara (engl. curve of limiting parameters). Na ovaj način je ukupan broj numeričkih simulacija potrebnih za određivanje statističke raspodjele vjerojatnosti povratnog preskoka višestruko umanjen, jer je riječ o sistematičnim a ne stohastičkim simulacijama. Istovremeno, primjena Gaussove kopule omogućava konstruiranje multivarijatne statističke razdiobe (struja munje koje su incidentne vodu) na način da se odvojeno promatra struktura korelacijske matrice od marginalnih razdioba. Pritom, marginalna razdioba amplituda struje koje su incidentne vodu ovisi o njenoj geometriji, sukladno elektrotehničkom modelu (EGM) razvoja udara munje u nadzemni vod.

#### **Pitanja za diskusiju:**

1. Autori navode kako se eventualna potreba za ugradnjom linijskih odvodnika prenapona može analizirati korištenjem raspodjele vjerojatnosti koja je opisana u radu. Jeli moguće u tom slučaju uzeti u obzir sve utjecajne faktore (npr. stvarnu raspodjelu struje munje na trasi dalekovoda iz sustava za lociranje munja, stvarne otpore uzemljivača stupova i činjenicu da na pogođenom stupu ne mora doći do preskoka dok istovremeno na susjednim stupovima može doći do preskoka, stohastiku lokacije udara munje po trasi, određivanje optimalnog rasporeda odvodnika prenapona po stupovima na cijeloj trasi, itd.)?
2. Na koji način je određen minimalno potrebni broj simulacija (1000-1500) i odnosi li se taj broj samo na konkretni primjer koji je opisan u referatu (110 kV dalekovod) ili on vrijedi općenito i za neke druge vrste dalekovoda i za različite naponske razine?

**C4-07          Božidar Filipović-Grčić, Alan Župan, Nikola Bunčić**

### **ANALIZA VRLO BRZIH PRENAPONA UZROKOVANIH SKLAPANJEM VISOKONAPONSKIM RASTAVLJAČIMA U ZRAKOM IZOLIRANIM RASKLOPNIM POSTROJENJIMA**

U radu su analizirane prijelazne pojave uzrokovane sklapanjem visokonaponskih rastavljača u 400 kV i 220 kV rasklopnom postrojenju te su određeni valni oblici prenapona na naponskim mjernim transformatorima kapacitivne i induktivne izvedbe koji se nalaze u blizini rastavljača. Izračunati su prenaponi koji se prenose u sekundarne krugove kapacitivnih mjernih transformatora. Karakteristike ovakvih sklopnih prenapona koji se mogu pojaviti u pogonu na stezaljkama visokonaponske opreme razlikuju se od standardnog ispitnog sklopnog i atmosferskog udarnog napona te ovise o nizu parametara koji mogu varirati ovisno o vrsti i trenutku sklopne operacije. Ovakve pojave mogu uzrokovati kvarove visokonaponskih energetskih i mjernih transformatora uslijed dielektričnih naprezanja i dugotrajne degradacije izolacijskog sustava uzrokovane kumulativnim efektom ponavljajućih prenaponskih naprezanja.

**Pitanja za diskusiju:**

1. Mogu li autori potkrijepiti rezultate svojih simulacija na VN razini mjernim rezultatima iz literature?
2. S obzirom da mjerenje u sekundarnim krugovima NMT nije zahtjevno niti zahtjeva posebnu skupu opremu, jesu li u planu takva mjerenja?

## **PREFERENCIJALNA TEMA 7: Napredni alati i tehnike za analizu značajki EES-a**

**C4-08**

**Alen Bernadić**

### **DETEKCIJA MALIH NAPUKNUĆA BETONSKIH STUPOVA DALEKOVODA S KONVOLUCIJSKIM NEURONSKIM MREŽAMA**

Metode računalnog vida i dubokog učenja u širokoj su uporabi u suvremenim infrastrukturnim pa i u elektroenergetskom sustavu. Jedna od praktičnih primjena je otkrivanje napuknuća u strukturama građevinskih i metalnih dijelova složenih objekata. U ovome radu predložen je model tzv. konvolucijske neuronske mreže koji služi za otkrivanje malih napuknuća u betonskim objektima u elektroenergetskom sustavu kao što su betonski stupovi dalekovoda. Algoritam je implementiran u Googleovom Python baziranom alatu Tensorflow s pripadajućim bibliotekama. Za potrebe modela korištena je i metoda povećanja seta fotografija (data augmentation) kako bi se ostvario dovoljan broj uzoraka fotografija napuknuća betonskih struktura. Pri tomu su korištene fotografije različitih izvora i kvalitete kako bi se dobio univerzalni model. Postignuta točnost i brzina modela u odnosu na raspoloživi broj uzoraka otvara mogućnost primjene u sustavima zračnog ili stacionarnog video nadzora elektroenergetskih objekata s ciljem efikasnih preventivnih mjera održavanja elektroenergetskih objekata i infrastrukturnih objekata općenito.

#### **Pitanja za diskusiju:**

1. How was the data augmentation strategy implemented?
2. How did the author tackle the problem of the CNN hyperparameters optimization?
3. Did the author consider increasing the class imbalance of the dataset, and what repercussions would that have on the CNN model accuracy?



### 3. ZAKLJUČAK

Većina od 8 prihvaćenih referata su vrlo kvalitetni, što su potvrdili i recenzenti svojim ocjenama. Zaključno se može kazati sljedeće:

1. Kvaliteta električne energije je dobro obrađena u radovima, a može se zaključiti kako problem kvalitete električne energije sve više dobiva na važnosti i zastupljen je u sve većem broju radova.
2. Stabilnost EES-a, sigurnost sustava i uključenje novih izvora je tema koja je dobro zastupljena u radovima, a koja dobiva sve više na važnosti s porastom udjela obnovljivih i distribuiranih izvora u elektroenergetskom sustavu.
3. Napredne tehnike i alati za analizu značajki EES-a iskazuju pojavu primjene vrlo moderne tehnike strojnog učenja temeljene na dubokim neuronskim mrežama.
4. Uočeno je smanjenje ukupnog broja pristiglih radova u odnosu na prethodno Savjetovanje.