

# Monitoring performansi visokonaponskih dalekovoda u realnom vremenu

T. SADOVIĆ  
Sadovic Consultant  
France  
tarik@sadovic.com

S. SADOVIĆ  
ETF SARAJEVO  
B&H

O. HADŽIĆ  
NOS  
B&H

V. PANTIĆ  
NOS  
B&H

**Sadržaj**— Ovaj rad prikazuje sistem za određivanje performansi visokonaponskih dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone u realnom vremenu. Više različitih tehnologija integrirano je u ovaj sistem: GPS sinhronizovano snimanje elektromagnetskih tranzijenta u realnom vremenu; Sistem za lociranje udara groma u realnom vremenu (GPS sinhronizovano); Softversko simuliranje preskočnih karakteristika dalekovoda. Snimanje elektromagnetskih tranzijenta vrši se I3CM kontrolerima. Kontroleri, koji snimaju tri napona i tri struje instalirani su na oba kraja dalekovoda i neprestano šalju snimljene podatke centralnom serveru. Centralni server korelira podatke dobijene tranzijentnim rekorderima sa podacima dobijenim od sistema za lociranje udara groma. Dva softverska paketa za određivanje performansi visokonaponskih dalekovoda su integrirani u sistem (sigma slp i EMTP-RV). Prikazani sistem je instalisan na 110 kV dalekovodima prema Hrvatskoj i Crnoj Gori.

**Ključne riječi**-Atmosfersko pražnjenje, Tranzijentni rekorder, Sistem za lociranje mesta udara groma, Preskočne karakteristike dalekovoda

## I. UVOD

Poznavanje elektromagnetskih tranzijenata na visokonaponskim dalekovodima od uzetnog je značaja za normalan rad elektroenergetskih sistema. Podaci o tranzijentnim strujama i naponima potrebni su nam za podešenje reljne zaštite, ocjenu performansi dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone, izbor prekidača i ostale opreme, ocjenu kvaliteta električne energije, lociranje mesta kvara na dalekovodu, određivanje uticaja na telekomunikacione vodove, proračun uzemljivača, itd.

Različiti uredjaji i sistemi za određivanje tranzijenata u osnovi digitaliziraju tri napona i tri struje na početku i na kraju dalekovoda. Uredjaji, koji se priključuju na sekundarne strane mjernih transformatora najčešće su posebne izvedbe i razvijeni su za obavljanje samo određenih funkcija.

U ovom radu prikazuje se primjena podataka, dobijenih posebno razvijenim tranzijentnim rekorderom (I3CM) za određivanje performansi visokonaponskih dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone.

Poznato je da velika većina ispada u elektroenergetskim sistemima prouzrokovana atmosferskim pražnjenjima (50 % do 70 %). Udari groma u visokonaponske dalekovode prouzrokuju

povratne preskoke i direktnе udare groma u fazne provodnike. Ovi događaji dovode do različitih vrsta kratkih spojeva. Elektroprivredne organizacije nastoja reducirati preskoke na visokonaponskim dalekovodima prouzrokovane udarima groma.

Postoji više metoda za poboljšanje preskočnih karakteristika visokonaponskih dalekovoda: poboljšanje otpora uzemljenja stubova, instalacija dodatnih gromobranskih užadi, upotreba linijskih odvodnika prenapona, poboljšanje izolacionih karakteristika dalekovoda, izbor prikladne trase, ugradnja dodatnih zateznih užadi. Ove metode mogu biti skupe, a često puta nije moguće postići značajnija poboljšanja.

Performanse visokonaponskih dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone mogu se određivati pojednostavljenim empirijskim izrazima, softverskim simuliranjem ili direktnim mjerenjem u sistemu. Za direktno određivanje performansi dalekovoda potrebno je imati podatke o udarima groma u dalekovod i informacije o broju preskoka izazvanih direktnim udarima groma. Za direktno određivanje udara groma u visokonaponske dalekovode danas koristimo moderne sisteme za lociranje udara groma (LLS - Lightning Location Systems).

Moderno LLS omogućuju precizno određivanje mesta udara groma, daju podatke o karakteristikama groma i imaju vrlo precizno GPS vrijeme.

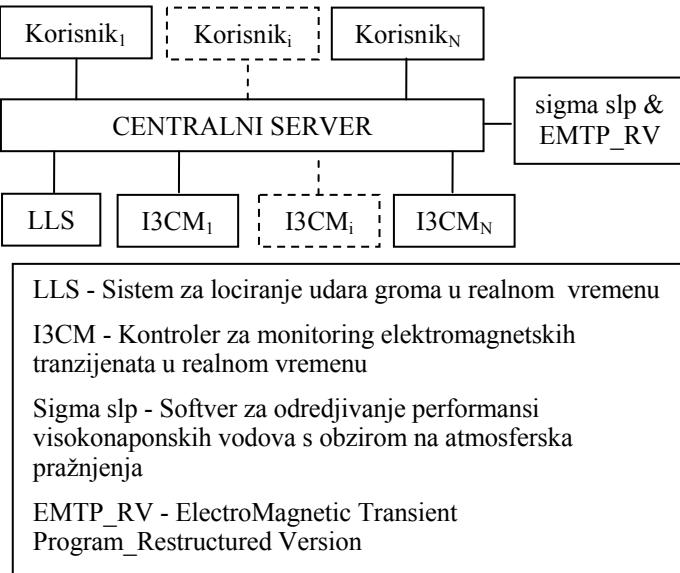
U okviru ovoga rada prikazuje se sistem koji omogućuje određivanje performansi visokonaponskih dalekovoda u realnom vremenu. Sistem je baziran na poređenjem podataka dobijenih od LLS i podataka dobijenih od tranzijentnih rekordera. Oba skupa podataka imaju GPS sinhronizovano vrijeme. Preskočne karakteristike dalekovoda određuju se u realnom vremenu.

Prikazani sistem instalisan je na 110 kV dalekovodima prema Hrvatskoj i prema Crnoj Gori.

## II. BLOK DIJAGRAM RAZVIJENOG SISTEMA

Blok dijagram razvijenog sistema prikazan je na Slici 1. Osnovni koncept sistema je prijem i poređenje podataka dobijenih od LLS i tranzijentnih rekordera. Oba sistema imaju vremensku GPS sinhronizaciju.

- Analizirati doprinose dodatnih gromobranskih užadi.



Slika 1. Blok dijagram razvijenog sistema.

Sistem funkcioniše na slijedeći način:

- Čim jedan ili više kontrolera registruje događaj, odgovarajući podaci, zajedno sa GPS vremenima šalju se na centralni server.
- Nakon prijema podataka o tranzijentima, centralni server pretražuje podatke dobijene od sistema za lociranje udara groma (koji ima takodjer precizno GPS vrijeme).
- Uporedjući vremena za oba skupa podataka, server ustavljava dali je greška nastala uslijed udara groma ili ne.
- Ako je kvar nastao uslijed udara groma ova informacija je automatski poslana korisnicima, pri čemu se na ekranu računara korisnika geografski prikazuje položaj mesta udara, podaci o karakteristikama groma, podaci o tranzijentnim naponima i strujama. Na ekranu računara grafički se prikazuje i dalekovod na kojem je nastao kvar.
- Na istoj slici prikazuje se i položaj I3CM kontrolera.
- Korisnik može prikazati snimljene oblike napona i struja na ekranu računara tako što će "kliknuti" na prikazani položaj kontrolera.

Na osnovu ovog algoritma vrlo lako je odrediti stvarne performanse visokonaponskih dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone. Na ovaj način moguće je imati podatke o performansama dalekovoda uzduž njegove trase. Ovo je vrlo značajan skup informacija na osnovu kojih možemo:

- Poboljšati otpore uzemljenja pojedinih stubova.
- Razmatrati instalaciju odvodnika prenapona.

Na osnovu monitoringa tranzijenata u realnom vremenu i podataka dobijenih od sistema za lociranje udara groma moguće je odrediti:

- Dali je kratak spoj nastao uslijed atmosferskih pražnjenja ili ne.
- Vrstu kvara.
- Vodiče na kojima je nastupio kratak spoj.
- Napone na pojedinim vodičima prije nastanka kvara.
- Tokove struja kratkih spojeva.
- Oblike struja kratkih spojeva, trajanje kvara, informaciju o uspješnosti sistema APU.
- Vršiti monitoring kvaliteta električne energije.
- Podatke potrebne za određivanje strategije održavanja.

Kompletan sistem funkcioniše u realnom vremenu, pri čemu su podaci rada sistema dostupni bilo kojem korisniku (Intranet ili Internet povezanim na odgovarajuću računarsku mrežu).

Na osnovu dobijenih podataka od strane sistema lako je izdvojiti podatke potrebne za odgovarajuće softverske simulacije preskočnih karakteristika voda (koristeći se sigma slp ili EMTP softverom).

### III. I3CM KONTROLER

I3CM kontroler (Integrated Computation Communication Control Measurement) je baziran na industrijskom računaru koji ima solid state disk i koji ne posjeduje ventilator (mala potrošnja električne energije) (Slika 2). Kontroler ima više mogućnosti za vezu sa centralnim serverom: LAN, WiFi i 3G. Mogu se koristiti različite vrste GPS prijemnika. Vremenska preciznost može biti od 0,1 do 20 mikrosekundi.



Slika 2. I3CM kontroler.

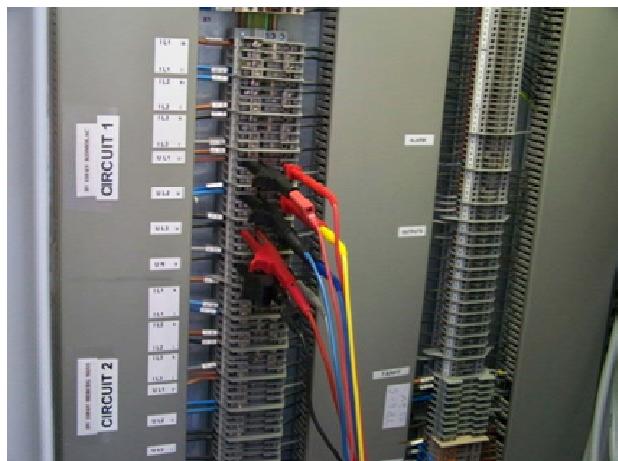
I3CM kontroler može prihvati različite vrste akvizicijskih kartica. Akvizicijske kartice, koje su najčešće spojene na USB ulaz mogu imati brzine uzrokovanja od 0,5 do 50 Mega uzoraka u sekundi i preciznost od 12 do 16 bita. Ove kartice mogu imati od 4 do 16 ulaznih kanala, a kontroler može istovremeno upravljati sa više ovakvih kartica.

Akvizičijske kartice se priključuju na sekundare mjernih transformatora koristeći se otvorivim strujnim senzorima i naponskim djeliteljima (Slika 3). Važno je isteći da se sistem može instalirati pod naponom (nije potrebno vršiti isključenje dalekovoda).

#### A. Otvorivi strujni senzori:



#### B. Priključak na naposke mjerne transformatore:



Slika 3. Priključak I3CM kontrolera na mjerne transformatore.

#### IV. SISTEM ZA LOCIRANJE MJESTA UDARA GROMA U REALNOM VREMENU

Podaci o udarima groma dobijaju se u realnom vremenu od strane LINET LLS sistema. Ovaj sistem, koji pokriva veliki broj zemalja u regionu (B&H, Srbija, Crna Gora, Hrvatska, ..) isporučuje putem Interneta sljedeće podatke :

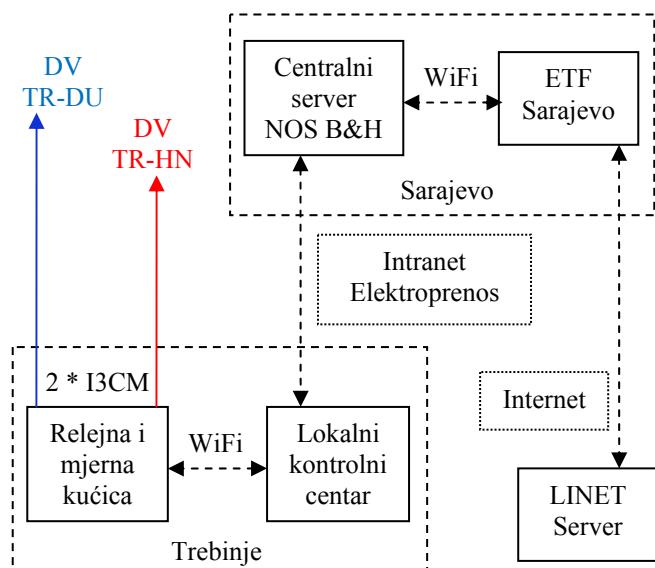
- Datum.

- Vrijeme (0,1 mikrosekunda preciznost).
- Koordinate mjesta udara groma.
- Vršnu vrijednost i polaritet struje groma.
- Tip pražnjena (CG – Između oblaka i zemlje ili CC – Između oblaka).
- Podatke o pogreški u lociranju.

Centralni server obradjuje ove podatke u realnom vremenu.

#### V. PRIMJER INSTALACIJE SISTEMA

Razvijeni sistem je instaliran u razvodnom postrojenju u Trebinju. Odgovarajući dijagram je prikazan na Slici 4. Na istoj slici prikazani su i odgovarajući sistemi za prenos podataka.



Slika 4. Arhitektura instaliranog sistema.

I3CM kontroleri su instalirani na sljedećim 110 kV dalekovodima:

- DV Trebinje - Dubrovnik: 110 kV DV TR\_DU.
- DV Trebinje - Herceg Novi: 110 kV DV TR\_HN.

Geografske koordinate svih stubova od oba dalekovoda prikazane su na Slici 5.



Slika 5. Geografski prikaz dalekovoda za koje se vrši monitoring.

## VI. PRIMJERI PRIMJENE SISTEMA

U ovom poglavlju prikazujemo primjere primjene razvijenog sistema.

Prvi primjer se odnosi na udar groma amplitude 22,6 kA, negativnog polariteta u stub broj 47 dalekovoda TR\_DU. Geografski prikaz sekcije dalekovoda, zajedno sa podacima o mjestu udara groma prikazan je na Slici 6. Podaci dobiveni od strane LINET LLS prikazani su u Tabeli 1.

TABELA I. LINET LLS PODACI ZA PRVI PRIMJER

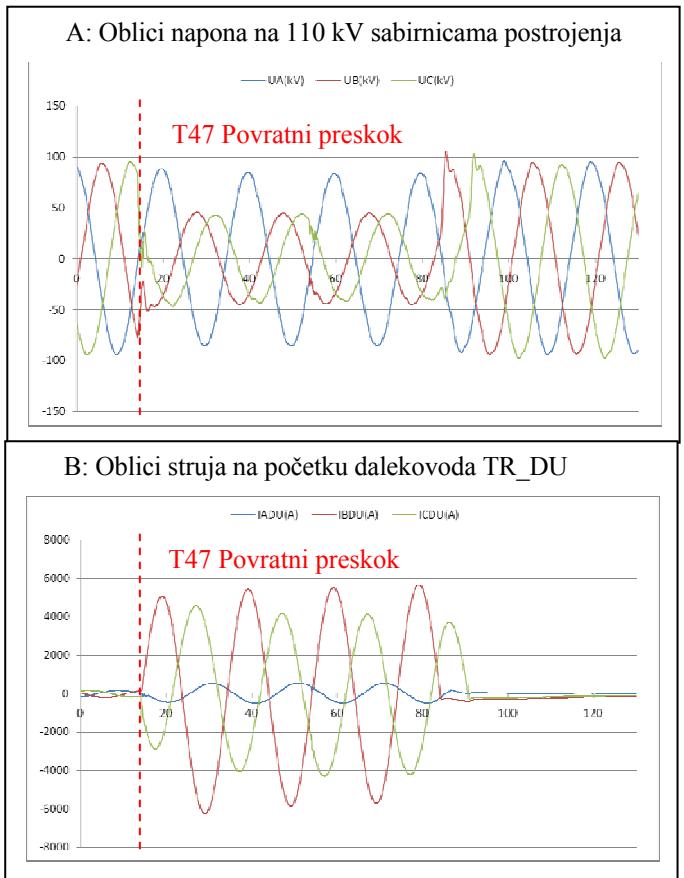
Datum	Vrijeme	Latitude	Longitude	Peak (kA)	Type
20120203	19:55:04.7642546	42.6551	18.2086	-22.6	CG



Slika 6. Dalekovod TR\_DU: Grom amplitude -22,6 kA udara u stub 47.

Na osnovu geografskog prikaza mesta udara groma možemo zaključiti da grom udara u stub broj 47, te da je tačnost LLS sistema oko 200 metara (jedan raspon). Stub broj 47 nalazi se na terenu koji ima vrlo visok specifični otpor tla (kamenjar).

Odgovarajući oblici napona i struja snimljenih u postrojenju u Trebinju prikazani su na Slici 7.



Slika 7. Oblici napona i struja za grom prikazan na Slici 6.

Na osnovu prikazanih rezultata možemo zaključiti da je razmatrani grom prouzrokovao dvofazni zemljospoj na fazama A i B. Oblici struja na početku dalevoda (u Trebinju) prikazani su na Slici 7b.

Sa ovog prikaza vidimo da je prekidač uspješno otklonio kratak spoj, te da je ovaj dalekovod ispac.

Za ovaj primjer napravljena je softverska simulacija koristeći softver sigma slp. Korišteni su početni naponi na faznim provodnicima (Slika 7a), te odgovarajući podaci o gromu. Na osnovu softverskih simulacija ustanovljeno je da je otpor uzemljenja stuba 47 oko 80 om, [to je očekivana vrijednost za razmatrano područje.

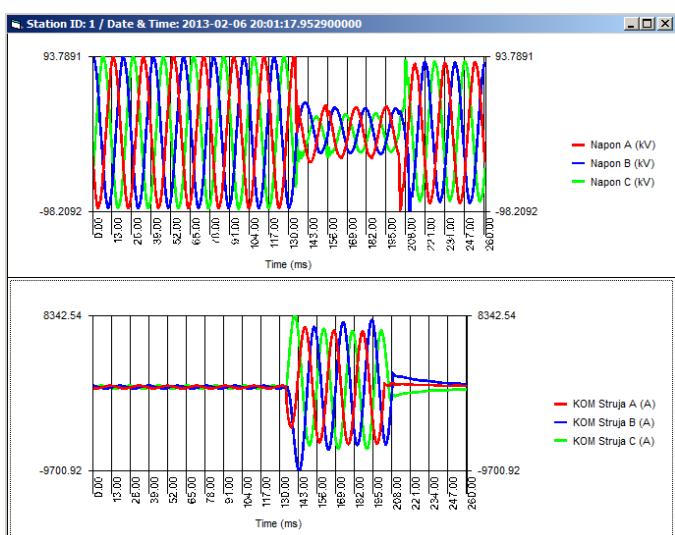
Drugi primjer se odnosi na geografski prikaz mesta udara groma, karakteristike groma uz istovremeni prikaz na ekranu oblika napona i struja u Trebinju.

TABELA II. LINET LLS PODACI ZA DRUGI PRIMJER

Datum	Vrijeme	Latitude	Longitude	Peak (kA)	Type
20130206	20:01:17.952	42.6774	18.2235	-40.0	CG



Slika 8. DV TR\_DU: Grom amplitude -40,0 kA udara u dalekovod.



Slika 9. Oblici napona i struja za grom prikazan na Slici 8.

## VII. ZAKLJUČCI

- Poredeći podatke dobijene od strane tranzijentnih rekordera instaliranih na oba kraja dalekovoda sa podacima dobijenim od sistema za lociranje udara groma u realnom vremenu moguće je razviti vrlo moćan sistem za određivanje preskočnih karakteristika dalekovoda.
- Preskočne karakteristike dalekovoda s obzirom na atmosferske prenapone automatski se dobijaju. Preskočne karakteristike dalekovoda dobijaju se uzduž dalekovoda, tako da je na pojedinim dionicama moguće poduzeti odgovarajuće mjere za njihovo poboljšanje (popravka otpora uzemljenja, linijski odvodnici prenapona, ..).
- Predloženi sistem može poslužiti kao precizan lokator mjesto kvara (cca 200 metara tačnost).

- Na osnovu rezultata monitoringa moguće je lako izdvojiti podatke za softversko simuliranje preskočnih karakteristika dalekovoda.
- Ovaj sistem omogućuje monitoring kvaliteta električne energije u realnom vremenu.

## ZAHVALNICA

Ovim želimo zahvaliti kompaniji Nowcast GmbH, Njemačka koja nam je omogućila korištenje LINET LLS podataka za razmatrani region.

## LITERATURA

- Sadovic Consultant, "sigma slp > Software for the Determination of Transmission and Distribution Lines Electrical Performance", 48 rue Victor Hugo, 92600 Asnieres, France, ([www.sadovic.com](http://www.sadovic.com)).
- H. D. Betz, U. Schumann, P. Laroche „Lightning: Principles, Instruments and Applications, Review of Modern Lightning Research“, Springer 2009.
- T. Sadovic, S. Sadovic, "Transmission Line Lightning Performance", Simulation & Analysis of Power System Transients with EMTP\_RV, Dubrovnik, Croatia, 2009/04/27 - 2009/04/29.
- S. Sadovic, T. Sadovic, "Sigma Family Insulation Co-ordination Software Tools", CIGRE C4 Colloquium on Lightning and Power System, Kuala Lumpur, Malaysia, 2010/05/16 - 2010/05/19.
- A. Xemard, S. Sadovic, T. Sadovic, M. Mesic, A. Guerrier, "Lightning current measurement on an overhead line equipped with line arresters", CIGRE Session 2010, Paris, France, 2010/08/22 - 2010/08/27.
- S. Sadovic, T. Sadovic, "Modern Power Quality Measurement", 10th Conference of Bosnia-Herzegovina Committee of CIGRE, Hotel Radon Plaza, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina, 2011/09/25 - 2011/09/29.

## ABSTRACT

This paper presents system for the real time monitoring of transmission line lightning performance. Several technologies are integrated into real time expert system for transmission line lightning performance determination: Real time electromagnetic transient recorder equipped with GPS receiver; Lightning Location System with the GPS timing synchronized data; Simulation software packages. Real time electromagnetic transient recorder is based on I3CM controller which permanently monitors three voltages and three currents. Recorder is installed at transmission line ends and automatically sends recorded data (in case of event) to the central server. Central server correlates data obtained from transient recorder and data from Lightning Location System to determine stroke location. Two software packages for the transmission line lightning performance computation are integrated into system (sigma slp and EMTP\_RV). System is installed on 110 kV transmission lines to Croatia and to Montenegro.

## REAL TIME MONITORING OF TRANSMISSION LINE PERFORMANCE

T. SADOVIĆ, S. SADOVIĆ, O. HADŽIĆ, V. PANTIĆ