

7. (13.) savjetovanje
Šibenik, 24. - 27. lipnja 2021.

Ivan Štamol, ing. el.
C&G d.o.o. Ljubljana, Slovenija
ivan.stamol@c-g.si

Matej Dečman, dipl. ing. el.
C&G d.o.o. Ljubljana, Slovenija
matej.decman@c-g.si

mr. sc. Marjan Bezjak, dipl. ing. el.
E-SENZOR d.o.o., Slovenija
marjan@e-projekt.si

dr. sc. Viktor Lovrenčič, dipl. ing. el.
C&G d.o.o. Ljubljana, Slovenija
viktor.lovrencic@c-g.si

Miha Osredkar, dipl. org.
C&G d.o.o. Ljubljana, Slovenija
Miha.osredkar@c-g.si

ISKUSTVA SA ZAŠTITOM OD VISOKOOMSKIH KVAROVA NA SREDNJENAPONSKIM NADZEMNIM VODOVIMA

SAŽETAK

U naprednim elektroenergetskim mrežama (engl. smart grids) potrebno je na određena mjesta postaviti senzore koji mjere različite parametre. Na temelju promjena tih parametara senzori pomoću posebnog algoritma otkrivaju različita preopterećenja i kvarove u mreži. U izvanrednim situacijama za pravilno funkcioniranje potrebni su podaci poput točne pozicije i vrste kvara u mreži. Na osnovi ovih informacija servisni tim može u najkraćem vremenu otkriti, a zatim i otkloniti kvar. U ovom referatu posebnu pozornost posvetit ćemo otkrivanju pozicija prekida vodiča (i posljedično kvarova zbog visokoomskog otpora (engl. High Impendance Fault - HIF)), što je u nekim slučajevima vrlo teško otkriti, također ćemo na kratko predstaviti slovenska iskustva, istraživanja, razvoj uređaja i konkretne montaže senzora na srednjenaponske nadzemne vodove

Ključne riječi: uređaj sa senzorom, nadzemni vod, prekinuti vodiči, visokoomski kvar

EXPERIENCES WITH PROTECTION AGAINST HIGH-IMPENDANCE FAILS ON MEDIUM VOLTAGE OVERHEAD LINES

SUMMARY

In Smart Grids, we have to place measuring devices on certain network points, which are arranged to measure different network parameters. With specific algorithms on the basis of parameter changes, they detect various overloads and network failure, In an emergency event the information necessary for proper operation is particular the exact locations and types of faults in the network so that the service team can detect and eliminate the failure as soon as possible. Discovering the location of interrupted conductors gives an emphasis in this paper, to detect the breakdown of the conductors and their locations, which is often very difficult to detect. We will also briefly present Slovenian experience, research and development of the device with the sensor and mounting sensors on medium voltage overhead lines.

Keywords: device with sensor, overhead line, interrupted conductors, High Impendance Fault

1. UVOD

1.1. Napredne mreže

U naprednim elektroenergetskim mrežama (engl. smart grids) potrebno je na određena mjesta postaviti mjernu opremu koja u kontrolni centar šalje informacije o mrežnim parametrima.

U izvanrednim situacijama kontrolni centar može djelovati automatski na temelju odgovarajućih algoritama ili je intervencija prepuštena dispečeru da više ili manje odgovarajuće djeluje na temelju podataka iz mreže.

Lokacije vodiča s pre niskim ili previsokim naponom, mjesta preopterećenih vodiča ili pak lokacije kvarova predstavljaju podatke potrebne za pravilno postupanje u slučaju redovitih i izvanrednih događaja.

Posebno su važne točne pozicije kvarova u mreži koji mogu biti točke kratkog spoja ili zemljospoja kao i točke gdje su prekinuti vodiči.

U ovom referatu poseban naglasak stavljen je na otkrivanje prekida vodiča koje je u nekim slučajevima vrlo teško otkriti primjerice kada su vodiči izolirani ili su oštećeni u zraku ili se nalaze na nevodljivom kamenitom tlu.

1.2. Prekidi vodiča

Vodiči nadzemnih elektroenergetskih mreža mogu se prekidati, prelomiti ili pregorjeti iz raznih razloga. Uzroci mogu biti vanjski (mehanička preopterećenja poput leda, pada drveta, požara, atmosferskih pražnjenja ili intervencije treće osobe) ili unutarnji (neodgovarajući materijal, nezadovoljavajuća montaža, uporaba pogrešne tehnologije itd.).

Prekidanje jednog ili više vodiča koji padaju na tlo najčešće otkriva električna zaštita. Ova zaštita bazira se na principu mjerenja električnih struja prema zemlji, koja nakon detekcije isključuje oštećen vodič.

U nekim slučajevima struja između ležećeg prekinutog vodiča i zemlje nije dovoljno velika da se može prekid vodiča otkriti električnom zaštitom (npr. dugi vod, slab kontakt sa zemljom zbog izolacije na vodičima, stijene, suhi pijesak, asfalt itd.).

U svim tim slučajevima predstavlja visoki napon na tlu ležećeg vodiča ozbiljnu životnu opasnost sve dok se ne otkrije greška i dok se oštećeni vod ne isključuje, što može potrajati nekoliko sati ili više.

Problem prekinutih vodova i posljedično kvarova zbog visokoomskog otpora (engl. High Impedance Fault - HIF) prisutan je od samih početaka elektroenergetike, a prva objavljena i dostupna izvješća datiraju s početka 1960.

U referatu ćemo ukratko prikazati dosadašnja saznanja i razne metode odnosno sredstva otkrivanje HIF-a i s time povezanih prekida vodiča kao i prednosti tih metoda, odnosno slabosti.

Također smo opsežnije predstaviti istraživanja, razvoj i korištenje LiSa® sustava kao i istraživanja i razvoj Advanced LiSa® (ALiSa) senzora odnosno uređaja, koji mjeri parametre električnog polja oko trofaznih vodiča i na temelju promjena parametara otkrije jesu li vodiči prekinuti ili ne.

Prikazat ćemo rezultate teorijske analize i rezultate simulacije trofaznog električnog polja ispod vodiča za referentno stanje te za stanja pod različitim kvarovima kao i model senzora.

Patentirana struktura i način rada senzora temelje se na mjerenju promjena različitih parametara električnog polja koji nastaju kada se vodiči prekidaju u vodu s različitim raspodjelama vodiča na stupu (horizontalna, delta itd.).

Opisat ćemo prijedlog osnovne konstrukcije senzora i prijedlog zaštitnog sustava sa sensorima montiranim na stupove duž SN voda. Pri tome se za komunikaciju s centrom za daljinsko vođenje koristi GSM protokol.

1.3. HIF i stanje tehnike

HIF (High Impedance Fault) ili kvarovi zbog visokoomskog otpora su opsežno istraženi od ranih 1960-ih s ciljem pronalazjenja praktične, učinkovite i pouzdane metode detekcije. Razmotrene su različite tehnike detekcije HIF [1], [3] i [7-8]. Među različitim vrstama HIF kvarova je po život opasan pogotovo onaj na tlu ležeći vodič pod naponom.

Dok je neprekinute vodiče pod naponom na tlu ili u blizini tla vrlo teško, gotovo nemoguće otkriti, možemo prekinute vodiče koji uzrokuju HIF kvarove pod određenim uvjetima pouzdano detektirati i lokalizirati kvar.

Općenito su u komercijalnoj uporabi uređaji, čiji se rad temelji na mjerenju parametara struje sa višim harmonijskim i neharmonijskim komponentama [4-8] kao i uređaji dizajnirani za mjerenje parametara sustava trofaznog napona duž i na kraju SN voda [2], [9-14], [17-18] i [21-26].

Uređaji za otkrivanje HIF kvarova koji se temelje na mjerenju strujnih parametara rade na sličan način i na istoj lokaciji kao i klasična zaštita, dakle na početku SN voda. Nedostatak ove zaštite je da s njom ne možemo utvrditi mjesto kvara, a i lažni alarmi nisu isključeni. Prednost ove zaštite je što može otkriti druge vrste HIF kvarova, uključujući i vodiče na tlu koji nisu prekinuti.

Da bismo izbjegli ove neugodnosti i pojednostavili odnosno pojeftinili uređaj za otkrivanje prekida vodiča razvijen je senzor Advanced LiSa® (ALiSa) za bežičnu detekciju prekida vodiča. Senzor mjeri parametre električnog polja ispod trofaznih vodiča u radijalnom SN vodu i na temelju promjena parametara otkriva prekide vodiča.

2. DETEKCIJA PREKINUTOG VODIČA

2.1. Prva verzija uređaja za detekciju prekinutih vodiča

U Sloveniji postoji više od 700 km SN vodova izvedenih s poluizoliranim (PIV) vodičima. Zbog mehaničkih oštećenja, neispravne montaže, neodgovarajućeg materijala, jakih atmosferskih pražnjenja i vibracija ili drugih uzroka, dolazi do povremenih prekida (pucanja) vodiča (u posljednjih nekoliko godina zabilježeno nešto više od stotinu slučajeva). Zaštita u trafostanicama zbog izolacije između vodiča i zemlje često ne prepoznaje prekid PIV vodiča zbog čega ne isključuje oštećeni vod.

U svim tim slučajevima prekinuti vodič pod naponom predstavlja opasnost za život i zdravlje ljudi ili životinja sve dok se ne otkrije greška i električni vod se ne isključi. Vrijeme u kojem se to događa može potrajati nekoliko sati, a u iznimnim slučajevima čak i nekoliko dana.

Problem neidentificiranih prekinutih vodiča pod naponom, a posebno problem prekinutih poluizoliranih vodiča u SN nadzemnim vodovima, izazvao je u stručnim krugovima u Sloveniji mnogo polemika. To je bio povod pronalasku zaštitnog uređaja koji bi detektirao prekid vodiča, a zatim bi isključio vod u kvaru.

Zbog učestalih neidentificiranih prekida PIV vodiča udruženje elektrodistribucija Slovenije je 2004. godine uvelo privremeni moratorij na izgradnju električne mreže s poluizoliranim vodičima, sve dok nisu utvrđeni uzroci učestalih prekida takvih vodiča i nisu dane upute za daljnju izgradnju. Ova smjernica nesumnjivo uključuje zaštitni uređaj za otkrivanje prekida vodiča, jer se ubuduće, čak i pažljivo izrađenim vodičima, očekuju prekidi vodiča zbog različitih razloga.

Prepoznavanje prekinutih PIV vodiča nije moguće niti sa osjetljivom zemljospojnom zaštitom, zato je razvijen i izrađen novi električni zaštitni uređaj za pouzdano otkrivanje prekinutog vodiča.

Tako je u distribucijskom poduzeću Elektro Primorska ustanovljeno da kod višestrukih prekida PIV vodiča električna zemljospojna zaštita u TS Ilirska Bistrica, izvod Matulji, nije prepoznala zemljospoj pa zato i nije isključila vod u kvaru. Slični problemi su se pojavili i na DV Cerkljanski vrh, koji se napaja iz TS Cerkno. Stoga je Elektro Primorska već 2006. godine odlučili opremiti dva dalekovoda s uređajima za detekciju prekinutih vodiča, što je realizirano u 2007. godini.

Uređaj mjeri sustav SN trofaznih napona, to jest fazne i međufazne napone uz pomoć tri kapacitivna djelitelja napona. Na temelju vrijednosti faznih i međufaznih napona te posebnog algoritma naprava detektira jedan, dva ili tri prekida vodiča. Tijekom prekida vodiča uređaj alarmira sustav za

nadzor mreže. Na temelju tih podataka, dežurna služba poduzima sve potrebne korake kako bi osigurala pouzdan rad. Odluka da se odmah isključi vod u kvaru kao i način uklanjanja nenormalnog pogonskog stanja uglavnom su prepušteni odgovornim osobama distributera (dispečerima).

Projekt je detaljno opisan u referatu SLOKO CIGRE-CIRED, Čatež 2007 [9].

Iskustva sa sustavom zaštite općenito su dobra, iako su se tijekom godina pojavljivali i lažni alarmi zbog različitih problema s kapacitivnim djeliteljem napona.

U 2011. godini Elektro Primorska odlučila je nadograditi sustav sa zahtjevom za neposrednim automatskim isključivanjem voda s prekinutim vodičima, čak i u slučajevima prespajanja SN vodova. Projekt je u završnoj fazi.

2.2. Nadogradnja sustava prve generacije

Nadogradnja sustava postavila je pred izvođače sljedeće zahtjeve:

- zbog zahtjeva za trenutno isključenjem voda potrebno je sprječavanje lažnih alarma metodom dvostrukog mjerenja na SN vodu i na NN strani transformatorske stanice te na SN vodu i NN strani daljinsko upravljivog učinkog rastavljača u točki mjerenja, što se pokazalo kao vrlo uspješno,
- razvoj opsežnijeg softvera za konzentator sustava koji će omogućiti trenutno isključenje najbližeg prekidača prije mjesta kvara, čak i u slučaju kad se SN vod napaja iz drugog, nestandardnog smjera napajanja,
- integracija u sustav daljinske kontrole i upravljanje transformatorskih stanica i SN vodova te u sustav za kontrolu kvalitete energije kao i u sustav za daljinsko mjerenje energije,
- sustav je sastavni dio električne zaštite SN distribucijske mreže.

Koncept rada sustava:

- dvostruko mjerenje naponskog sustava u točkama distribucijske mreže,
- združivanje podataka na razini daljinske upravljačke jedinice (eng: Remote terminal unit – RTU),
- prijenos podataka preko telekomunikacijskih kanala u konzentator,
- obrada prenesenih podataka iz mjernih točaka u mreži i usporedba vrijednosti u modelu algoritma,
- algoritam utvrđuje stanje u mreži,
- prijenos alarma u centar vođenja (DC), SMS poruka odgovornom osoblju,
- daljinsko isključenje neispravnog voda.

Upravljački sustav sastoji se od:

- centraliziranog računalnog konzentatora za primjenu i pohranu podataka te za prijenos podataka za ostale aplikacije upravljačkog sustava,
- RTU jedinica u određenim mrežnim točkama osim daljinskog isključivanja oštećenog voda omogućavaju sljedeće: prikupljanje podataka i vođenje mjernih centara i mogućih ostalih inteligentnih uređaja na objektu preko komunikacijskih veza s uređajima (RS232, RS485, Ethernet), signalno prikupljanje podataka i upravljanje uređaja putem pomoćnih/signalnih kontakta ili sučelja uređaja (stanje prekidačkih i zaštitnih uređaja, prikupljanje analognih mjerenja, uključanje/isključanje uređaja itd.), jedinstveno upravljanje svih uključenih podsklopova za različite funkcionalnosti, kao što su praćenje pouzdanosti opskrbe, mjerenje kvalitete električnog napona, praćenje radnih parametara, lokalno zapisivanje svih mjerenja i događaja, opremljenih vremenskim oznakama za prijenos u kontrolni centar.

Detaljan opis projekta opisan je u člancima i radovima [10,11,12].

2.3. Uređaj sa senzorom za detekciju prekinutog vodiča

Svi dosad poznati uređaji i metode temelje se na mjerenju napona na vodičima trofaznog elektroenergetskog voda tako da su vodiči i mjerni uređaj povezani vodičima, zbog čega je tijekom ugradnje mjernog uređaja potrebno isključiti napon. Također tijekom rada postoji mogućnost kvarova mjernog uređaja zbog atmosferskih i drugih prenapona na vodičima.

Stoga je 2012. i 2013. godine započelo istraživanje mogućnosti razvoja uređaja za otkrivanje prekida vodiča bez povezivanja s vodičima SN mreže. Razvijena je teoretska analiza i simulacija električnog polja oko trofaznih vodiča nadzemnog voda, uzimajući u obzir geometriju vodiča u dvodimenzionalnom prostoru i sinusoidne vremensko promjenjive trofazne napone na vodičima.

Mjerenja su provedena u visokonaponskom laboratoriju ICEM-TC u okviru Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informatike Sveučilišta u Mariboru (Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru) gdje smo pomoću natisnutih napona simulirali naponske uvjete tipične za različite raspodjele vodiča i razne vrste prekinutih vodiča (prekinut je jedan vodič na lijevoj strani, zatim na desnoj, pa gore kao i prekidanje dva vodiča također u raznim kombinacijama).

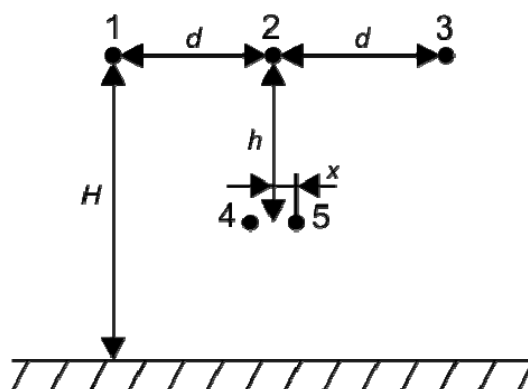
Model i metoda rada senzora temelje se na mjerenju promjena različitih parametara električnog polja do kojih dolazi tijekom prekida vodiča u vodu pri različitim raspodjelama vodiča na stupu, primjerice horizontalna, delta, itd.

Razvijen je konstrukcijski model senzora i metodu detekcije s jednom elektrodom te model i metoda za otkrivanje pomoću dvije elektrode. Senzori su postavljeni na stupove duž SN voda i opremljeni su GSM komunikacijom prema centru za daljinsko upravljanje.

Razvoj ALiSa senzora podržala je Javna agencija Republike Slovenije za spodbujanje podjetništva, internacionalizacije, tujih investicija i tehnologije (SPIRIT) ugovorom br. PDP(I.)-2/2017 o sufinanciranju operacije Advanced LiSa. Razvoj ALiSa senzora predvidio je u zaključnoj fazi montažu na SN nadzemnim vodovima u vlasništvu distribucije Elektro Ljubljana d.d. (Slika 4 - 7), zaključne aktivnosti u travnju 2020.

2.3.1. Teoretski model djelovanja

Analiziran je ALiSa sustav s dvije elektrode. Na slici 1 prikazan je sustav s dvije elektrode 4 i 5. Elektrode 4 i 5 nalaze se na udaljenosti x u odnosu na simetralu zračnog SN voda. U tako jednostavnom modelu analiziran je fazni kut između sinusoida električnog potencijala na obje elektrode. Utvrđeno je da se tijekom prekida vodiča fazni kut između sinusoida električnog potencijala na elektrodama značajno smanjuje, a nakon prekida dva vodiča jednak je nuli.



Slika 1: Sustav s dvije elektrode 4 i 5

Zaključeno je da se, osim promjene potencijala, u algoritmu za otkrivanje prekida vodiča mora uzeti u obzir i promjena kuta između dviju elektroda.

To je važno, jer vremenski uvjeti u velikoj mjeri utječu na mjerenja električnog potencijala, a puno manje na promjenu kuta između sinusoidnih funkcija električnog potencijala na jednoj i drugoj elektrodi.

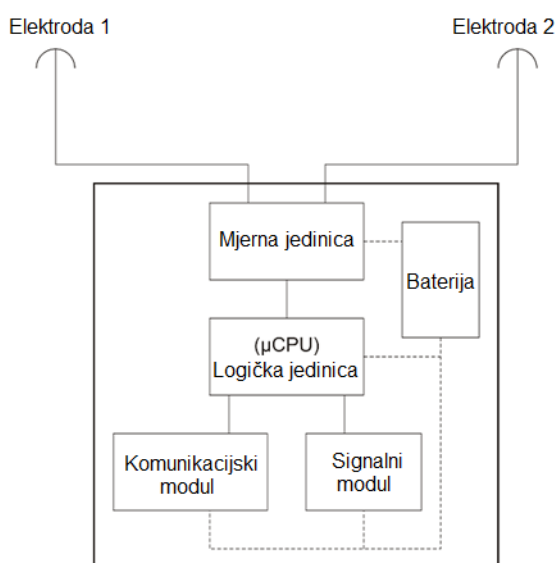
Teoretska analiza sustava s jednom i dvije elektrode predstavljena je detaljnije u radovima [14,15,16].

2.3.2. Model senzora

ALiSa senzor omogućava bežično otkrivanje prekida vodiča u SN trofaznom radijalnom nadzemnom elektroenergetskom vodu mjerenjem parametara električnog polja oko trofaznih vodiča i omogućuje bežičnu prijavu grešaka u upravljačkom centru.

Slika 2. shematski prikazuje sastav ALiSa senzora s dvije elektrode.

Mjerna jedinica koju s elektrodama povezuju vodiči, logička jedinica za obradu podataka s integriranim algoritmima za otkrivanje prekinutih vodiča na temelju mjerenja promjena parametara električnog polja ispod elektroenergetskih vodiča, kao i komunikacijski modul i signalni modul za lokalnu signalizaciju odnosno daljinsko obavještanje te baterija za napajanje.



Slika 2: Primjer izvedbe senzorskog uređaja s dvije elektrode

2.3.3. Metoda detekcije prekinutih vodiča

Metoda za otkrivanje prekinutih vodiča s ALiSa senzorom s dvije elektrode pouzdanija je od metode s jednom elektrodom.

Algoritam koristi mjerenja parametara potencijala električnog polja na elektrodama 4 i 5, dakle u dvije točke u blizini kontroliranog voda.

Fazna razlika (fazni kut $\Delta\varphi$) između sinusoide potencijala na elektrodi 4 i elektrodi 5 te amplitude V_4 i V_5 dvaju električnih potencijala u promatranim točkama, predstavljaju parametre na temelju kojih se pouzdano određuje prekid i tip prekida. U simetriji imaju fazni kut $\Delta\varphi$ i amplitude V_4 i V_5 određenu referentnu vrijednost: $\Delta\varphi_{REF}$ i V_{REF} . U slučaju prekida jednog vodiča, fazni kut $\Delta\varphi$ opada, a amplitude V_4 i V_5 povećavaju se.

U slučaju prekida dva vodiča fazni kut $\Delta\varphi$ između amplituda V_4 i V_5 na obje elektrode je približno nula, a amplitude V_4 i V_5 dodatno se povećaju ako je iza senzora na vodu priključen trofazni transformator ili se čak i ne mijenjaju kada je senzor na kraju otvorenog voda.

2.3.4. Montaža senzora ALiSa u mreži Elektro Ljubljana d.d.

Na temelju sporazuma između C&G-a i Elektro Ljubljane te ugovora o sufinanciranju operacije ADVANCED LISA od strane SPIRIT-a, završena je montaža 3 seta ALiSa senzora na dva nadzemna voda: 35 kV Kleče - Vevče i 10 kV - Ljubljana Barje.

Instalacija u srpnju 2019. imala je za cilj potvrditi funkcionalnosti na „živoj mreži“, koje su prethodno testirane u laboratoriju i na vlastitom poligonu [18,19]. Na DV 10 kV - Ljubljana Barje je simuliran kvar, kojeg je senzor ALiSa pravilnim djelovanjem i potvrdio.



Slika 3: Montaža ALiSa-e na DV 35 kV Kleče – Vevče



Slika 4: ALiSa na DV 35 kV Kleče – Vevče



Slika 5: ALiSa na DV10kV - Ljubljana Barje



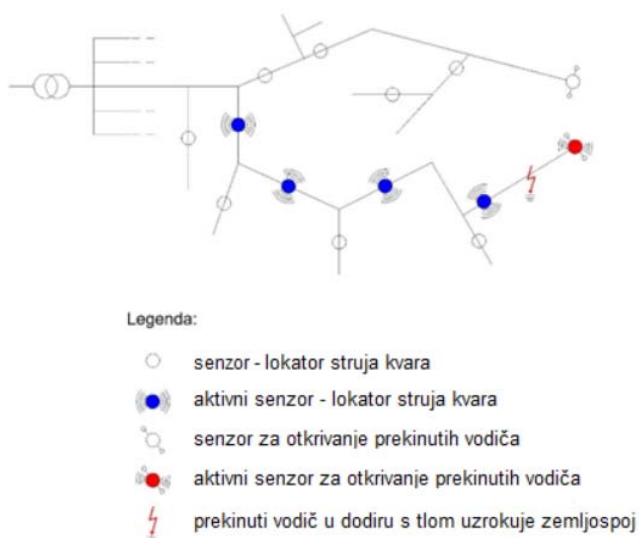
Slika 7: ALiSa sa solarnim napajanjem na DV 10 kV-Ljubljana Barje

2.3.5. Kombinacija senzora ALiSa i lokatora struja kvara

Senzor električnog polja, po svojoj strukturi, načinu montaže i korištenju sličan je indikatoru odnosno lokatoru struja kvara, tako da integracija oba uređaja ima smisla.

Lokator struja kvara mjeri magnetsko polje ispod vodiča trofaznog elektroenergetskog voda te na temelju izmjerenih promjena parametara magnetskog polja otkriva i javlja zemljospoj i kratki spoj u vodičima. Lokatore i senzore postavlja se na određene lokacije na stupovima duž elektroenergetskog SN voda. Opremljeni su lokalnom signalizacijom i komunikacijskim modulom za bežično slanje poruka o kvaru i lokaciji kvara u centar daljinskog upravljanja.

Svi lokatori struje kvara unutar trofaznog voda mogu imati opciju mjerenja električnog polja za otkrivanje prekinutih vodiča. Tako lokator senzori ispred lokacije kvara vodiča s prekinutim vodičem u dodiru s tlom upozoravaju na struju kvara ili struju zemljospoja, a lokator senzori iza lokacije kvarova s prekinutim vodičem dojavljuju o prekidu vodiča (Slika 8).



Slika 8: Primjer raspodjele senzora lokatora unutar mreže i senzora na kraju odcjeka DV-a

3. ZAKLJUČAK

Teorijska istraživanja, mjerenja u ispitnom laboratoriju i ispitivanja na „živoj mreži“ pokazala su da senzor koji mjeri električno polje ispod vodiča može pouzdano otkriti prekide vodiča.

Dovršen je razvoj senzora za otkrivanje prekinutih vodiča u SN vodičima. S obzirom na uspješnu montažu na 35 kV i 10 kV vodove možemo reći da je ALiSa senzor u obje verzije spreman za serijsku proizvodnju.

Posebna se pozornosti u proizvodnji treba posvetiti dizajnu kućišta (vodonepropusnost tijekom desetaka godina) te napajanju baterije i potrošnji energije (zamjena baterije svakih deset godina).

Na kraju, želimo naglasiti da je ovom metodom prvi puta dokazano da je za otkrivanje prekinutih vodiča uz potencijal električnog polja odlučujući parametar promjena u faznom kutu sinusoidnog električnog potencijala između elektroda po prekidu vodiča, što je zaštićeno i patentom [13,14].

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Javnoj agenciji Republike Slovenije za spodbujanje podjetništva, internacionalizacije, tujih investicij in tehnologije (SPIRIT), koja je podržala razvoj ugovorom br. PDP(I.)-2/2017 o sufinansiranju operacije ADVANCED LISA.

4. LITERATURA

- [1] L. Li, M. A. Redfern, „A review of techniques to detect downed conductors in overhead distribution system“. IEEE Proceedings and Developments in Power System Protection, vol. 479, pp. 169-172, 2001.
- [2] J. Stoupis, M. Maharsi, R. Nuqui, S. A. Kunsman, R. Das, „Reliable Detection of high-impedance faults caused by downed conductors“, ABB Review 1/2004.
- [3] D. Hou, „Detection of High-Impedance Faults in Power Distribution Systems“, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2006.
- [4] E. C. Senger, W. Kaiser, J. C. Santos, P. M. S. Burt, C. V. S. Malagodi, „Broken Conductors Protection System Using Carrier Communication“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 15 No. 2, New York, travanj 2000.
- [5] L. Garcia-Santander, P. Bastard, M. Petit, I. Gal, „Down-conductor fault detection and location via a voltage based method for radial distribution networks“, Generation, Transmission and Distribution, IEEE Proceedings Volume:152 Issue: 2, Ožujak 2005.
- [6] E. Bjerkan, H. K. Hoidalén, J. G. Hernes, „Reliable Detection of Downed and Broken Conductors“, CIGRE-CIRED, 19th International Conference on Electricity Distribution Vienna, svibanj 2007.
- [7] M. Bezjak, Z. Toroš, „Device and method for indicating and signaling changes in three-phase voltage system of power line, with purpose to detect interrupted conductor“, EP 2 019 323 A1, Priority 27-07-2007« Date of publication 28-01-2009, Bulletin 2009/05, Munich, 2009.
- [8] M. Bezjak, Z. Toroš, „Remote operation control of a MV/LV transformer station and remote signaling of faults“, EP 2 109 205 A1, 09-04-2008, European Patent No. 2109206, Munich, 13. ožujak 2013.
- [9] V. Lovrenčić, S. Peulić, Z. Dimović, „Naprava za odkrivanje in izklop voda s prekinjenimi vodniki – primer pilotske instalacije na Elektro Primorska“, CIGRE-CIRED, Čatež, 2007.
- [10] M. Dečman, V. Lovrenčić, Z. Toroš, S. Čeferin, M. Bezjak, B. Turnšek, B. Likar, „Napredna zaščita nadzemnih vodov v primeru pretrganega vodnika“, CIGRE-CIRED, Laško, 2013.
- [11] V. Lovrenčić, Z. Toroš, S. Čeferin, M. Bezjak, B. Turnšek, B. Likar, M. Dečman, „Advanced protection of overhead lines in event of interrupted conductor“, CIRED, Stockholm, 2013.
- [12] Z. Toroš, B. Turnšek, „Advanced protection of Overhead Lines in Elektro Primorska“, Slovenia, T&D, 2015.
- [13] M. Bezjak, G. Ambrožič, M. Finc, F. Bertoncej, G. Bezjak, „Sensor za brezžično detekcijo prekinutve vodnikov v trifaznem nadzemnem elektroenergetskem vodu ter metoda v zvezi s tem“, Patentna prijava št. 201400330.
- [14] M. Bezjak, G. Ambrožič, M. Finc, F. Bertoncej, G. Bezjak, „A new look at the detection of interrupted and downed conductors in the MV overhead lines“, CIDEL, Buenos Aires, 2014.
- [15] M. Bezjak, G. Ambrožič, M. Finc, F. Bertoncej, G. Bezjak, „Nov pogled na odkrivanje pretrganih vodnikov v SN nadzemnih vodih, 2. Konferenca o vzdrževanju elektroenergetskih objektov“, Nova Gorica, 2014.
- [16] M. Bezjak, G. Ambrožič, M. Finc, F. Bertoncej, G. Bezjak, „Sensor za detekcijo pretrganih vodnikov in za detekcijo kratkostičnih in zemljostičnih tokov“, CIGRE-CIRED, Portorož 2014.
- [17] M. Jarc, V. Lovrenčić, M. Dečman, B. Uhlik, M. Bezjak, G. Ambrožič, G. Bezjak, „ADVANCED LiSa® - senzor za odkrivanje prekinutih vodiča“, 6. savjetovanje HO CIRED, Opatija, Hrvaška, 13. 5. – 16. 5. 2018.
- [18] M. Dečman, M. Bezjak, G. Bezjak, G. Ambrožič, „Advanced Lisa® - sensor for the detection of interrupted conductors“, SMAGRIMET 2019, Second International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet), Split, travanj 2019.
- [19] M. Dečman, V. Lovrenčić, M. Osredkar, G. Bezjak, „Advanced Lisa® - sensor for the detection of interrupted conductors in MV overhead lines“, CIRED, Laško 2019, svibanj 2019.