

Parametri za utvrđivanje stvarnog stanja provodnika

Aleksandar Simović, Nada Cincar

Univerzitet u Istočnom Sarajevu
Elektrotehnički fakultet

Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina
aleksandar.simovic@etf.unssa.rs.ba,
nada.cincar@etf.unssa.rs.ba

Zlatan Stojković

Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet

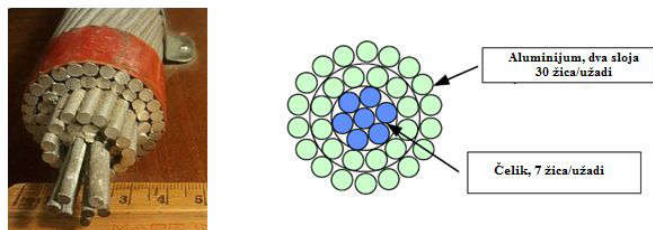
Beograd, Srbija
zstojkovic@etf.rs

Sadržaj—Provodnik kao jedini aktivni dio visokonaponskih nadzemnih vodova koji je pod naponom, izložen je različitim klimatskim uticajima, koji mogu da uzrokuju koroziju, oštećenje ispod stezaljki, zamor materijala u blizini rastojnika, stezaljki i spojnice, kao i topljenje provodnika usljed međufaznih preskoka ili sudaranja. Provodnici su ugroženi i pojavom mehaničkih oscilacija koje nastaju pod dejstvom vjetra određenog intenziteta i u posebnim klimatskim i geografskim uslovima. U radu su na osnovu analiza obrađena oštećenja provodnika izazvanih korozijom, kao i pojave vibracija usljed kojih provodnici postaju podložni dodatnim naprezanjima, što rezultira smanjenje životnog vijeka provodnika. Za različite uslove pogona na osnovu analiziranih podataka dat je prosječni životni vijek za provodnike različitih poprečnih presjeka.

Ključne riječi—visokonaponski nadzemni vod; provodnik; stvarno stanje

I. UVOD

Visokonaponski nadzemni vod je skup svih dijelova koji služe za nadzemno vođenje provodnika koji prenose i razvode električnu energiju, kojim su obuhvaćeni: fazni provodnici, zaštitna užad, izolatori, spojni ovjesni i zaštitni pribor, stubovi, temelji i uzemljenje. Provodnici predstavljaju aktivni i najvažniji dio nadzemnih vodova, s obzirom da služe za vođenje struje, a materijal za provodnike treba da ima ne samo veliku električnu vodljivost, već i dovoljnu mehaničku čvrstoću. Da bi se sjedinila dobra električna svojstva bakra, odnosno aluminijuma sa dobrim mehaničkim svojstvima čelika, izrađuju se kombinovani provodnici od dva različita materijala. Najčešće se upotrebljava uže kombinovano od aluminija i čelika, tzv. Al/Č gdje mehanički teret preuzima jezgro od čelika, a za vođenje struje se uzima u račun samo aluminijски plašt, Sl. 1 [1]-[3].



Slika 1. Al/Č uže i presjek Al/Č užeta

Ova užad dolaze naročito u obzir kod vodova najvišeg napona, gdje se zbog visokih napona ne može upotrijebiti obično aluminijско uže, a gdje presjek bakra nije dovoljan da se spriječe gubici korone. Da bi se dobila veća elastičnost, izrađuju se provodnici kao užadi, pleteni od većeg broja žica.

Svako uže opisuje se određenim fizičkim parametrima koji se koriste za analizu ponašanja užeta u različitim uslovima, a to su: modul elastičnosti užeta E [daN/mm²], koeficijent linearnog širenja α [1/°C], jedinična masa užeta m [kg/km], poprečni presjek užeta S [mm²], prečnik užeta d [mm] i drugo. Opterećenja na užadima nadzemnih vodova u eksploataciji, izloženim dejstvu uticajnih klimatskih parametara su: vlastita težina užeta, tj. opterećenje užeta, zatim težina užeta i dodatnog tereta (snijeg, led, inje) formiranog na užetu, tj. opterećenje užeta sa dodatnim teretom, zatim sila djelovanja vjetra na uže, tj. opterećenje užeta pri djelovanju vjetra, kao i sile djelovanja vjetra na uže sa dodatnim teretom (zaleđeno uže), tj. opterećenje pri djelovanju vjetra na zaleđeno uže.

Postoji niz pojava koje mogu da smanje eksploatacione karakteristika provodnika različitih presjeka, kao što su pojava korozije, oštećenje ispod stezaljki, zamor materijala u blizini rastojnika, stezaljki i spojnice, kao i topljenje provodnika usljed međufaznih preskoka ili sudaranja.

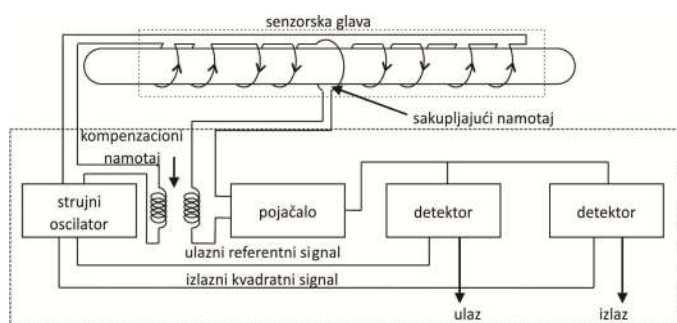
II. OŠTEĆENJA PROVODNIKA

Na najstarijim visokonaponskim nadzemnim vodovima oštećenja provodnika uglavnom nastaju kao rezultat korozije, dok manji broj kvarova se javlja usljed zamora materijala. Korozija provodnika nastaje u čeličnom jezgri i nakon određenog vremena širi se na aluminijum. Korozija provodnika prisutna je na ograničenim dužinama nadzemnih vodova, odnosno na različitim lokacijama. Krajnje posljedice korozije provodnika su smanjene struje opteretljivosti i gubitak zatezne čvrstoće. Na intenzitet korozije utiču četiri osnovna parametra:

- starost,
- tip provodnika,
- spoljna okolina i
- količina masti.

Korozijom najugroženija područja su uglavnom u blizini industrijskih zagađenja, kao i u blizini mora. Međutim, teški oblici korozije prisutni su i u drugim područjima. Do 1965. godine mast se ugrađivala samo u čelično jezgro, što se kroz pogon nadzemnih vodova pokazalo nedovoljnim, tako da se počelo dodavati i u sve slojeve aluminijuma. Iskustveni podaci pokazuju da je mast veoma važna u sprječavanju korozije provodnika. Kritična faza u razvoju korozije je oštećenje masti kada je omogućen prodor zagađenja do čeličnog jezgra. Do sada u svim slučajevima gdje je pronađena korozija aluminijuma pronađena je i korozija čeličnog jezgra.

U CERL (Central Electrical Research Laboratory) razvijen je mjerni instrument OHLCD (Overhead Corrosion Detector) koji služi za otkrivanje korozije provodnika i to u najranijem stadijumu. Upotreba OHLCD instrumenta pokazala se kao jako korisna i pouzdana za utvrđivanje stanja provodnika na najugroženijim lokacijama. OHLCD radi na principu vrtložnih struja, čije promjene ukazuju na postojanje unutrašnje korozije (gubitka cinka u jezgru provodnika), Sl. 2 [4]-[7].



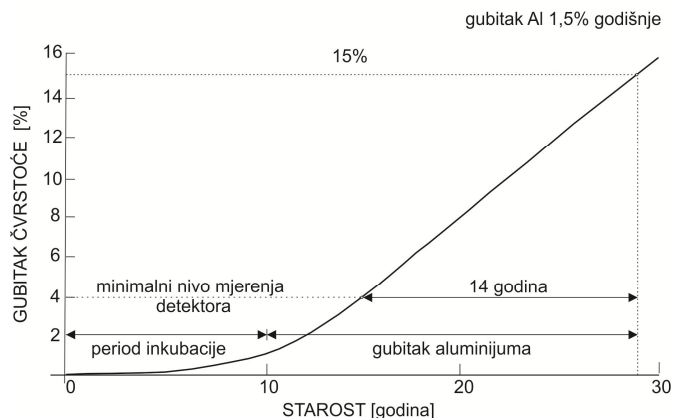
Slika 2. Princip rada OHLCD instrumenta

Instrument se sastoji iz senzorske glave, baterijom napajane digitalne jedinice i digitalnog radio prijemnika. Senzorska glava napravljena je u obliku šupljeg, uzduž rascjepljenog cilindra koji se postavlja oko i kreće po provodniku. Kada je glava zatvorena, ona formira dva para namotaja. Prvi par se napaja visokofrekventnom strujom (77 KHz) koja oko provodnika formira magnetno polje usljed čega se oko žica indukuju periferne vrtložne struje. Na ovoj frekvenciji magnetni flus ne postoji u unutrašnjosti žica. Drugi par namotaja reaguje na promjenu visokofrekventnog fluksa. Ako je presjek aluminijuma smanjen, kroz osjetljive namotaje će prolaziti veći flus. Ponašanje namotaja u slučaju pocinčanog čelika, mnogo je osjetljivije zbog magnetne permabilnosti čelika. U slučaju da je cink korodirao, odnosno da ga nema ili manje nedostaje, nastaju značajne promjene amplitude izlaznog signala iz senzorskih namotaja. Senzorski namotaji obično daju prosječnu veličinu signala sa 5 cm dužine provodnika. Na pocinčanom čeliku inače nema fluksa, osim u slučaju da je usljed korozije nastao.

Elektronska jedinica dijeli signal na dva dijela, ulaznu i kvadratnu komponentu koje se zajedno prenose do prijemnika na zemlji povezanog sa portabl računarom. Snimljeni podaci se posebnim programom, na bazi analize uticaja debljine galvanskog sloja na promjenu magnetnog fluksa, analiziraju i određuje se stanje, odnosno preostali vijek provodnika.

Snimljeni podaci se registruju u funkciji udaljenosti duž provodnika, tako da se mogu locirati mjesta najveće korozije. Analiza promjene čvrstoće na osnovu fluksa može se izvršiti i upoređivanjem dobijenih rezultata ispitivanja demontiranih uzoraka provodnika.

Jedna od osnovnih osobina kod provodnika je zatezna čvrstoća. Ispitivanjima utvrđen je prosječni gubitak čvrstoće, koji iznosi 0,75 % godišnje. Zamjena provodnika se pokazuje neophodnom u slučaju kada je zatezna čvrstoća smanjena 15 % što odgovara prosječnom godišnjem gubitku aluminijuma od 1,5 %, Sl. 3.



Slika 3. Najmanje očekivani životni vijek zamašćenih Al/Č provodnika

Na ovom nivou korozije u provodniku mogu se pronaći prekinute aluminijumske žice, što može dovesti do višestruko ubrzanog procesa korozije usljed proticanja cirkulirajućih struja između žica aluminijuma. U slučaju provodnika Al/Č većih presjeka sa više slojeva Al žica i kvalitetnim zamašćivanjem, višestruko su otporniji od provodnika manjih presjeka sa Al žicama samo u dva sloja. Kod provodnika sa više slojeva Al žica godišnje smanjenje čvrstoće Al žica iznosi oko 1,5 % u prvih 10 godina pogona. U najlošijem slučaju uzorak provodnika može imati smanjenje čvrstoće Al žica 18 % poslije 25 godina pogona.

U slučaju velike industrijske zagađenosti provodnici manjeg presjeka mnogo više korodiraju sa gubitkom čvrstoće žica Al od preko 30 % uz prekid nekoliko Al žica. Istovremeno, provodnici iste starosti sa dobrom zamašćenošću u seoskim područjima, bez izrazitog zagađenja vazduha, mogu da budu u dosta dobrom stanju. Proizilazi da starost provodnika nije kvalitetno mjerilo da se procjeni njegovo pogonsko stanje.

III. VIBRACIJE PROVODNIKA

Osim oštećenja izazvanih korozijom, provodnici na visokonaponskim nadzemnim vodovima ugroženi su i pojavom mehaničkih oscilacija koje nastaju pod dejstvom vjetra određenog intenziteta i u posebnim klimatskim i geografskim uslovima. Tok vjetra stvara aerodinamičke sile na provodniku uzrokujući opasne vibracije koje smanjuju pouzdanost i životni vijek voda. Vjetrom izazvane vibracije mogu izazvati štetu na provodnicima kao što je: zamor, nagrizanje, istrošenost i slično.

Kao i kod prisustva korozije na provodniku, najveći problem je identifikacija reprezentativnih raspona koji će povremeno biti pregledani. Prva oštećenja se na provodniku javljaju ispod vibracionih prigušivača i držača odstojanja i ne mogu se detektovati poznatim tehnikama, čak ni penjanjem na stub, kao ni helikopterima ne mogu se uvijek uočiti. Vremenom istrošenost može dovesti i do pada provodnika. Veliki promjeri užeta, snažno zatezanje, veliki rasponi, male specifične težine užeta – sve su to faktori koji povećavaju mogućnost pojave vibracija (amplituda od 2 do 20 mm, frekvencije 5 do 100 Hz).

Usljed vibracija pobuđenih vjetrom, visokonaponsko užje je podvrgnuto brzo promjenljivom naprezanju na rastezanje i savijanje. Naprezanje na rastezanje se stvara, jer provodnik između dva čvorišta zbog luka talasa mora elastično da se rastegne, a do naprezanja na savijanje dolazi usljed toga što provodnik na izlazu iz stezaljke u ovjesištu trpi savijanje pod dejstvom vibracija. Vibracije predstavljaju dodatno naprezanje i ubrajaju se u statička naprezanja užeta. Njihov doprinos nije relativno velik, ali svojim brzim promjenama dovode do zamora materijala. Užje se može prekinuti uprkos tome što je u statičkom pogledu ispravno dimenzionisano. Naklonost vibracijama je veća što je raspon veći, jer vibracije mogu biti samo određenih talasnih dužina. Odstojnici vodova u snopovima smetaju stvaranju stojećih talasa, te su takvi vodovi manje podložni dodatnim naprezanjima usljed vibracija. Jedan od načina sprječavanja zamora materijala je elastično vješanje provodnika. Provodnici se vješaju pomoću specijalno oblikovanih stezaljki tako da se mogu pomjerati u uzdužnom smjeru. Preko tog elastičnog ovješnja vibracije mogu preći u susjedni raspon, te se u stezaljki ne može stvoriti fiksno čvorište. U nekim slučajevima se koriste i specijalna antivibraciona užad, kod kojih je šupljina unutar aluminijumskog plašta veća od promjera čeličnog jezgra. Najefikasnije ublažavanje vibracija postiže se tzv. antivibratorima ili prigušivačima vibracija. Mogu biti aktivni i pasivni, a montiraju se na provodnike. Vibracije možemo podijeliti na četiri glavne grupe:

- eolinske vibracije,
- podrasponske oscilacije,
- galopiranje provodnika i
- oscilacije koje se javljaju usljed kratkih spojeva.

A. Eolinske vibracije

Ako se valjak sa glatkom površinom nalazi u struji vazduha koja je vertikalnog smijera u odnosu na njegovu osu, sa površine valjka se usljed trenja u pravilnim razmacima, naizmjenično na gornjoj i donjoj strani valjka odvajaju vrtlozi vazduha stvarajući tzv. Karman-ov niz vrtloga iza valjka, Sl. 4 [8].



Slika 4. Šematski prikaz von Karmann-ovog vrtloga

Sile vjetra koje djeluju transferzalno na provodnik uzrokuju poticaje u vertikalnom smjeru koji rezultiraju u eolinske vibracije (Karman vibracije). One se karakterišu relativno kratkim talasnim dužinama i frekvencijama između 5 i 120 Hz. Često je buka prvi indikator da postoji vibracija izazvana vjetrom.

Amplitude vibracija mogu dostići veličinu prečnika provodnika u tački slojnog talasa voda sa maksimalnom amplitudom. Karman vibracije pripadaju vrtložno induciranim vibracijama i klasifikovane su kao visoko-frekventne. Eolinske vibracije se javljaju kod vjetra koji ima laminarnu strukturu uopšteno sa brzinama vjetra od 5 m/s na neravnom terenu i do 10 m/s na ravnom terenu. Brzina vjetra se registruje mehaničkim ili ultrasoničnim anemometrima.

Tip provodnika značajno djeluje na jačinu vibracije, kao i na trajanje vibracije. Provodnici sa malom težinom u poređenju sa njihovim prečnikom dostižu mnogo brže uslove stacionarne vibracije nego teški provodnici. To je razlog zašto će posebno jednomaterijalni provodnici napravljeni od aluminijuma ili aluminijumske legure biti klasificirani kao oni koji su ugroženi od vibracija na širem području.

Posljedice djelovanja eolskih vibracija su zamori materijala koji su ugrađeni na nadzemnim vodovima, a najčešće su to lomovi pojedinih žica provodnika ili zaštitnog užeta neposredno u blizini nosive i zatezne stezaljke, nastavne spojnice, rastojnika, te odvrtnje vijaka i matica na stubovima i ovjesnoj opremi. Uz jačinu vibracije, sposobnost izdržljivosti materijala djeluje na pojavu i veličinu oštećenja od vibracije, zajedno sa konstruktivnim rješenjem zavešenja provodnika. Ukupna naprezanja provodnika i, prema tome, na pojedinačne žice su značajno veća u blizini nosećih stezaljki nego u slobodnom rasponu ili blizu zateznih stezaljki. Tip i konstrukcija nosećih sklopova, prema tome će biti odlučujući na sposobnost izdržljivosti provodnika zajedno sa nekim drugim parametrima. Na osnovu iskustva, oštećenja se javljaju najprije na mjestu vješnja provodnika. Mjere za saniranje i zaštitne metode će započeti u tačkama nošenja sa ciljem da se na tim mjestima očuva što je moguće manje naprezanje.

Provodnik, kao jedan od elemenata nadzemnog voda, predstavlja relativno složenu konstrukciju u pogledu izdržljivosti na različite sile. Naizmjenična naprezanja na savijanja pojedinačnih žica su pridodata početnim naprezanjima na zatezanje i na savijanje zbog statičke zakrivljenosti provodnika u tačkama nosećeg zavješnja. Unutar provodnika, pojedinačne žice jedne druge prelaze ukrštavanjem i promjena u zakrivljenosti rezultira u pomaku žica uzrokujući trenje i koroziju od trenja.

Da bi bili na strani sigurnosti, opšta je međunarodna praksa da se dozvoli granica od 150 $\mu\text{m/m}$ za deformaciju na savijanje kao standardizovana i odlučujuća veličina za sisteme prigušivanja vibracija. Ova vrijednost odgovara polovini sile zamora. U slučaju kompozitnih provodnika, komponente zatezne sile se prenose sa aluminijuma na čelik. Ovaj prenos opterećenja predstavlja značajno svojstvo kompozitnih provodnika, što doprinosi njihovoj performansi zamora, pošto

opseg prihvatljivog naizmjeničnog naprezanja na savijanje raste sa smanjenjem naprezanja aluminijuma. U slučaju jednometalnih provodnika, takav transfer ne može da se pojavi. Prema tome, takvi provodnici će pokazati nepovoljnije ponašanje na zamor. Za konstruktivno rješenje nosećih zavešenja, sila zamora provodnika je značajna. Noseće stezaljke bez bilo kakvih prigušivačkih djelovanja su pokazale svoju kvalifikaciju za nadzemne vodove u područjima manje sklonim vibracijama. Međutim, za vodove sklone vibraciji potvrđena konstruktivna rješenja su potrebna. Npr. upotreba zaštitnih pruteva ili druga konstruktivna rješenja poboljšavaju uslove u tačkama nošenja u spomenutom nizu što smanjuju naprezanja unutar provodnika, ali ne djeluju kao prigušivači.

B. Podraspanske oscilacije

Podraspanske oscilacije nastaju vjetrom izazvanim nestabilnostima usljed promjena u brzini vjetra. Mogu se javiti samo u snopu provodnika i često se zapažaju kod dvostrukog snopa sa horizontalno postavljenim provodnicima. Frekvencija podraspanske oscilacije je između 1 i 5 Hz, dužina je jednaka ili dva puta veća od dužine podraspona. Brzina vjetra koji uzrokuje podraspanske oscilacije je između 4 i 18 m/s i mogu rezultirati sa različitim modovima oscilacija. Osjetljivost na oscilacije je povećana njihanjem snopa duž horizontalne ose sa 5° do 10° zbog netačnog udešenja provodnika snopa ili zbog različitog puzanja provodnika. Amplitude oscilacija mogu postati tako velike da provodnici u snopu dodiruju jedan drugog. Vertikalne podraspanske oscilacije sa naslagama leda su bila zapažena na 400 kV vodovima sa snopom od četiri provodnika, koje traju nekoliko sati. Oscilacije ovog tipa ekstremno naprežu provodnike i rastojnike. Veliko naprezanje na savijanje provodnika u blizini rastojnika može dovesti do problema zamora. Podraspanske oscilacije klasifikovane su u niskofrekventne vibracije.

Posljedice djelovanja podraspanskih oscilacija obično se javljaju tamo gdje su provodnici osigurani spojnicama. Oscilacije izazivaju krivljenje aluminijuma u provodniku i poslije deset miliona ciklusa, pojavljuje se otkaz zbog zamora i može se pojaviti istezanje aluminijuma u unutrašnjosti. Dinamičko istezanje, izazvano podraspanskim oscilacijama ili vibracijama izazvanim vjetrom, je maksimalno na spoljnim slojevima, ali prave najveću štetu između drugog i spoljnog sloja. Ovi rezultati zamora materijala rezultiraju formiranjem oznaka u obliku sočiva na drugom sloju i ispod spoljnih slojeva. Zamor materijala biće vidljiv cijelom dužinom provodnika, ali najviše na spojevima. Ovo na kraju rezultira pukotinama. U najgorem slučaju, svi aluminijumski dijelovi u provodniku mogu se pokvariti i zbog toga tok struje kroz čelično jezgro izaziva topljenje i otkaz provodnika.

C. Galopiranje provodnika

Galopiranje provodnika javlja se kod jednostrukih provodnika, ali i kod provodnika u snopu uglavnom kada su pokriveni ledom. Amplitude mogu dostići veličinu ugiba provodnika, potencijalno dovodeći do sudaranja provodnika ili do električnih preskoka. Nestacionarna aerodinamska poprečna sila djeluje u smjeru kretanja oscilacije i pobuđuje

daljnje oscilovanje provodnika. U slučaju provodničkog snopa, poprečnoj oscilaciji je dodata torziona oscilacija, koja vodi do napadnog ugla toka vjetra. Brzina vjetra koji pobuđuje oscilacije je između 6 i 25 m/s i kao pravilo rezultiraju u prvom modu oscilacije. Frekvencija oscilacija je niska, kreće se od 0,1 Hz do 1 Hz. Galopiranje provodnika klasifikovano je kao niskofrekvetno.

Galopiranje dovodi do kratkog spoja između provodnika ili između provodnika i zaštitnog užeta, prekida izolatorskih lanaca i slično. Šteta na provodniku se vidi na osnovu znakova gorenja i komadića otopljenog metala na spoljnim površinama. Pojava može biti praćena uvećanom zvučnom i korona bukom na posmatranom rasponu voda. Do galopiranja uglavnom dolazi u prisustvu leda, a postoje tri fenomena koja vode ka formiranju ledenog omotača provodnika: „vlažan“ snijeg, smrznuta kiša i mraz. Formiranjem omotača oko provodnika, on dobija na težini. Samo svojom težinom dodatni teret može izazvati pad provodnika ili čak lom stubova. Ledeni omotač obično nije simetričan i može biti veoma tanak, što je prikazano na Sl. 5.



Slika 5. Pad provodnika usljed leda

Galopiranje je izazvano nesimetrijom u profilu provodnika. Površina provodnika nije glatka, već se neke pahuljice snijega lijepe za njega, dok neke ne lijepe. Zaljepljeni dijelovi postepeno grade izbočinu. Sposobnost provodnika da rotira pod nastalim obrtnim momentom je mala, pa se izbočina postepeno povećava. Formira se rukav oko cijelog provodnika, kao što je prikazan ekstremni slučaj na Sl. 6. Težina takvog rukava može dostići 5 - 10 kg/m, što je 2 - 20 puta više od težine provodnika (0,5 - 3 kg/m).



Slika 6. Stvaranje ledenog omotača oko provodnika

Galopiranje dovodi do oštećenja nadzemnog voda, uzrokuje i značajne smetnje u pogonu i može dovesti do ugrožavanja javne sigurnosti zbog narušavanja zahtijevanog minimalnog sigurnosnog rastojanja prema zemlji i preprekama. Što se tiče poboljšanja da se spriječi pobuda galopiranja, pravi se razlika između jednostrukog provodnika i provodnika u snopu. Za jednostruke provodnike, koriste se klatna da bi se promijenila

torziona prirodna frekvencija provodnika i konstrukcije prigušivača kao sistemi opružnih masa. U slučaju snopa provodnika, isto tako su prihvaćena klatna i sistemi opružnih masa koji su smješteni između rastojnika. Sklopovi ovog tipa imaju nedostatak da naknadna masa pridodata sistemu rezultira u povećanju zatezne sile provodnika.

Posljedice galopiranja mogu biti minimizirane prilagođenom konstrukcijom stubova. Maksimalne amplitude zbog galopiranja uglavnom zavise od ugla provodnika unutar raspona. Mogu se pojaviti amplitude do 12 m. Moguće je odabrati rastojanja provodnika kod stubova tako da galopiranje ne dovede do preskoka. Međutim, ovo podrazumijeva značajno povećanje glave stuba za slučaj radnih napona ispod 400 kV i prema tome bi dovelo do povećanja investicija. U slučaju duplih vodova, često je uočeno da je galopiranje imalo nepovoljne posljedice samo na jednomvodu zbog glavnog smjera vjetra. U ovom slučaju se preporučuje da se, ako je moguće, isključi ugroženi vod da bi se izbjegla oštećenja zbog preskoka.

D. Oscilacije koje se javljaju usljed kratkih spojeva

Zaštitna užad su postavljena na vrhu visokonaponskog nadzemnog voda da bi zaštitili provodnike od udara groma. Iako su napravljeni da imaju dobar nivo otpora na udar groma, fazni provodnici mogu pretrpjeti štetu tokom posebno ozbiljnih udara. Šteta varira od oštećenja spoljne površine, do topljenja i lomljenja spoljnih dijelova uz posljedično smanjenje mehaničke snage provodnika.

Struje kratkog spoja stvaraju elektro-magnetne sile unutar provodnika pobuđujući oscilacije od kratkog spoja. Zavisno od smjera toka struje, u uslovima kratkog spoja, faze naizmjeničnog sistema se privlače ili se odbijaju. Pošto je period kratkog spoja jako kratak, sile kratkog spoja u nadzemnom vodu će ostati male zbog velikih faznih rastojanja i niske prirodne frekvencije (niža od 0,3 Hz) provodnika sa ugibom, fazni provodnici su pobuđeni na slobodne oscilacije samo sa relativno malim amplitudama. Praktično, naprezanja koja pri tom nastaju mogu biti zanemarena.

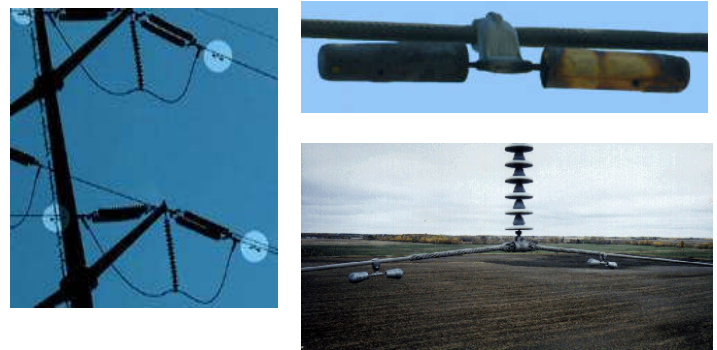
Uslovi se u principu mijenjaju ako su fazni provodnici projektovani u snopu. Sila od kratkog spoja između provodnika u snopu postiže značajne visoke vrijednosti zbog malih rastojanja između susjednih provodnika snopa i kao pravilo vode ka sudaranju provodnika snopa. U ovom slučaju, žice spoljašnjeg sloja mogu ostati trajno deformisane. Jezgro provodnika oslabi i tok vjetra, kao i magnetske sile između žica stvaraju vibracije koje uzrokuju uznemiravajuću buku. U slučaju sudaranja provodnika snopa javlja se unutar provodnika naizmjenično naprezanje na savijanje velike amplitude, odakle njegov značajno ubrzani zamor.

Mora biti prilagođena otporna konstrukcija rastojnika na kratki spoj, tj. oni se ne smiju trajno deformisati pod djelovanjem sila kratkog spoja ili potpuno uništiti. Rastojanja provodnika ne smiju se trajno smanjiti, pošto bi mogle nastaviti nepovoljne električne karakteristike voda. Samo vrlo kratke dužine provodnika snopa u područjima između 5 i 10 m

bi mogle izbjeći sudaranje provodnika u slučaju velikih struja. Ovakvo rješenje može biti primjenjeno samo u podstanicama, ali ne na vodovima zbog tehničkih i ekonomskih razloga. Da li će se provodnici snopa sudarati prilikom kratkog spoja, ne zavisi samo od struje kvara, već takođe i od perioda vremena u kojem takva struja djeluje. Takođe, u slučaju velikih struja, kratki periodi isključenja napajanja mogu izbjeći sudaranje provodnika.

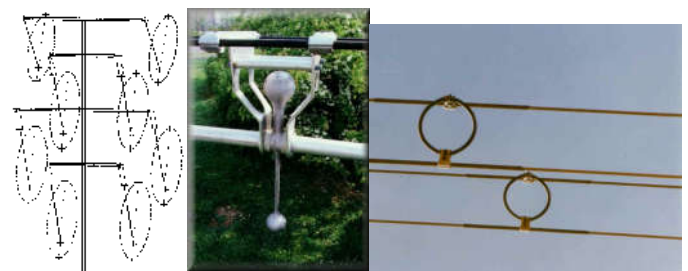
E. Uređaji koji štite provodnike od vibracija

Razvijeni su brojni uređaji koji imaju ulogu da štite provodnike od vibracija. Primjer zaštite od eolinskih vibracija korišćenjem antivibracionih odstojnika prikazan je na Sl. 7 [8].



Slika 7. Primjer zaštite od eolinskih vibracija korišćenjem antivibracionih odstojnika

Vibracije redukujemo obezbjeđivanjem dovoljnog broja držača odstojanja sa odgovarajućim karakteristikama, što je prikazano na Sl. 8 [8]. Šteta prvo zahvata mjesta gdje je provodnik zaštićen, npr. držačem odstojanja. Oscilacije izazivaju savijanje aluminijumskih niti provodnika i nakon nekoliko miliona ciklusa, dolazi do otkaza usljed zamora spoljnih i unutrašnjih aluminijumskih niti.



Slika 8. Šematski prikaz oscilacija u podrasponima i primjeri vibracionih prigušnica i držača odstojanja

Preduslov efikasnog djelovanja prigušivača vibracija je, pored ostalog, i pravilan raspored u rasponu.

IV. PROSJEČAN ŽIVOTNI VIJEK PROVODNIKA

Na osnovu analiziranih podataka u Tabeli I i Tabeli II prikazan je prosječan životni vijek Al/Č provodnika poprečnog presjeka 175 mm² i 400 mm² u različitim uslovima pogona.

TABELA I. PROSJEČAN ŽIVOTNI VIJEK AL/Č PROVODNIKA
POPREČNOG PRESJEKA 175 MM²

| Provodnik | 175 mm ² | |
|--------------|---------------------|---------------|
| | Prije 1965. | Poslije 1965. |
| Industrijsko | 35 godina | 45 godina |
| Obalno | 30 godina | 40 godina |
| Naselje | 40 godina | 50 godina |
| Agrarno | 40 godina | 50 godina |

TABELA II. PROSJEČAN ŽIVOTNI VIJEK AL/Č PROVODNIKA
POPREČNOG PRESJEKA 400 MM²

| Provodnik | 400 mm ² | |
|--------------|---------------------|---------------|
| | Prije 1965. | Poslije 1965. |
| Industrijsko | 40 godina | 50 godina |
| Obalno | 35 godina | 45 godina |
| Naselje | 45 godina | 50 godina |
| Agrarno | 50 godina | 60 godina |

Iz gornjih tabela se može primjetiti da poslije 1965. godine životni vijek provodnika se produžio za 5 do 10 godina, zavisno od uslova pogona. Jedan od razloga tome je što se do 1965. godine mast ugrađivala samo u čelično jezgro, a od iste godine počela se dodavati i u sve slojeve aluminijuma.

V. ZAKLJUČAK

Provodnici predstavljaju aktivni i najvažniji dio visokonaponskih nadzemnih vodova. Kroz istraživanje vršena je analiza različitih parametara koji mogu da prouzrokuju oštećenja provodnika, koja uglavnom nastaju kao rezultat korozije, koja prouzrokuje smanjenje struje operetljivosti i gubitak zatezne čvrstoće. Rezultati pokazuju da je starost provodnika samo jedan od parametara kojim se procjenjuje stvarno stanje. Vrlo važni parametri su i tip provodnika, spoljna okolina, kao i količina masti. Pojavom mehaničkih oscilacija koje nastaju pod dejstvom vjetera mogu nastati štete na provodnicima kao što je zamor, nagrizanje, istrošenost i slično. Usljed vibracija vodovi postaju podložni dodatnim naprežanjima. Smanjivanjem naprežanja u provodniku smanjuje se i frekvencija vibracija, što je praćeno povećanjem kako provjesa, tako i opasnosti od međusobnog približavanja provodnika usljed njihanja, što konačno dovodi do povećanja dimenzija stubova, a time i troškova. Poznavanje nastajanja i prirode vibracija daje smjernice za praktičnu odbranu od njih, što može biti usmjereno u dva pravca, smanjenje štetnih posljedica vibracija i sprječavanje nastajanja vibracija, tj. njihovo svođenje na bezopasnu mjeru. Da bi se produžio životni vijek provodnika bitno je sagledati stvarno stanje, kako bi se sprječile pojave koje dovode do oštećenja i samim tim narušavanja pouzdanosti elektroenergetskog sistema.

LITERATURA

- [1] J. Schlabbach, K. Rofalski, Overhead lines, Power System Engineering: Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment, 2008, pp. 137–157.
- [2] G. G. Karady, K. E. Holbert, Transmission lines and cables, Electrical Energy Conversion and Transport: An Interactive Computer-Based Approach, Second Edition, 2013, pp. 207–312.
- [3] M. S. Čalović, A. Sarić, Osnovi analize elektroenergetskih mreža i sistema, Akademska misao, Beograd, 2004.
- [4] A. Simović, Z. Stojković, M. Dutina, Software tool for the implementation of the methodology for revitalization of high-voltage overhead power lines, Journal of Energy and Power Engineering (JEPE), Vol. 8, No. 10, October 2014, pp. 1791-1801, Print ISSN 1934-8975, Online ISSN 1934-8983.
- [5] A. Simović, Z. Stojković, M. Dutina, Primjena metodologije pri revitalizaciji visokonaponskih nadzemnih vodova, BH K CIGRE, Neum, 2013, Ref. B2.04.
- [6] A. Simović, Z. Stojković, M. Dutina, Izbor provodnika pri revitalizaciji visokonaponskih nadzemnih vodova, JUKO CIGRE, Zlatibor 2013, Ref. B2-1.
- [7] S. Stupar, D. Jašović, M. Mladenović, Z. Vučković, Utvrdjivanje stanja čelično-rešetkaste konstrukcije stubova dalekovoda 110 kV Br. 106 AB, Valjevo-Zvornik, JUKO CIGRE, Vrnjačka Banja, 2007, R B2-10.
- [8] F. Kiessling, P. Nefzger, J. F. Nolasco, U. Kaintzyk, Overhead Power Lines, 2003.

ABSTRACT

Being the only active part of high-voltage overhead power lines, as well as being energized, the electrical conductor is exposed to different climatic conditions, which can cause corrosion, damage under the terminals and fatigue near both the spacers and the terminals, as well as near the connectors. Climatic conditions can also cause a melting of the conductor due to the interface leap or collision. Electrical conductors are jeopardized by both the appearance of mechanical oscillations that arise under the influence of the wind of certain intensity and by specific climatic and geographical conditions. Based on many analyses, the paper shows damages of electrical conductors caused by corrosion, as well as caused by vibration phenomena that can make electrical conductors more subjected to additional electrical stress, which results in reducing the lifetime of the conductor. Based on the analyzed data related to different requirements of the drive, the paper shows the average life expectancy for the conductors of different cross sections.

PARAMETERS FOR DETERMINING THE ACTUAL CONDITION OF CONDUCTORS

Aleksandar Simović
Nada Cincar
Zlatan Stojković