

Franjo Klarić, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
franjo.klaric@hep.hr

dr.sc. Vitomir Komen, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
vitomir.komen@hep.hr

mr. sc. Aleksandar Hajdu, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o., Elektroprimorje Rijeka
aleksandar.hajdu@hep.hr

RJEŠENJA 1 kV NN PRIJENOSA ENERGIJE ZA NAPAJANJE UDALJENIH POTROŠAČA

SAŽETAK

U ruralnim područjima DP Elektroprimorja Rijeka, do izdvojenih, a udaljenih potrošača električne energije (udaljenih i više od jednog kilometra od najbliže distributivne trafostanice), se električna energija dovodi električnim vodovima na naponskom nivou od 1000 V. Po važećim pravilnicima, ali i europskim normama i direktivama, 1000 V se smatra NN distribucijskim naponom. Većina NN opreme koja se koristi za 400 V je dimenzionirana za upotrebu do 1000 V, što pojednostavljuje primjenu 1 kV prijenosa energije, međutim dosadašnja rješenja nisu tipizirana kako po vrsti i tipu opreme tako i po vrsti uzemljenja i zaštite.

Izgradnja i održavanje 1 kV prijenosa energije je puno ekonomičniji od izgradnje i održavanja 20 kV priključka i distributivne TS 10(20)/0,4 kV, no zahtjeva i ozbiljni pristup pri izboru i ugradnji opreme (prvenstveno transformatora) i zaštite.

U ovom članku razmatrati će se moguće izvedbe 1 kV prijenosa energije, zračne i podzemne, odabir snaga, grupe spoja, i vrste uzemljenja zvjezdista energetskih transformatora (20/1 kV i 1/0,4 kV), te mjesta ugradnje i vrste zaštita u 1 kV distribucijskim mrežama.

Glavne riječi: 1 kV prijenos energije, transformatori 20/1 kV i 1/0,4 kV, zaštita

LV 1 kV TRANSMISSION SOLUTIONS FOR ENERGY SUPPLY OF REMOTE CUSTOMERS

SUMMARY

In rural areas of DP Elektroprimorje Rijeka, to remote and isolated customers (over one kilometer distant from the nearest distribution substations), electric power is brought by electric lines on a voltage level of 1000 V. The current regulations, and European norms and directives, 1000 V is considered to be LV distribution voltage. Most LV equipment used for 400 V is designed for use up to 1000 V, which simplifies the application of 1 kV power transmission, but solutions so far made were not standardized, not by the kind and type of electrical equipment, nor by the type of grounding and protection.

Construction and maintenance of 1 kV power transmission is much more economical than the construction and maintenance of 20 kV distribution connection and distribution substation 10(20)/0.4 kV, but requires a serious approach to the selection and installation of equipment (especially transformers) and relay protection.

In this article it will be considered possible solutions of 1 kV power transmission, by air and in ground, choosing of transformer power, connection groups, and different connections to ground of power

transformers' star point (20/1 kV and 1/0,4 kV), and the mounting location and type of protection in 1 kV distribution networks.

Key words: 1 kV distribution network, 20/0,4 kV and 1/0,4 kV transformers, relay protection

1. UVOD

U Hrvatskoj postoje tipizirani naponski nivoi koji se koriste za distribuciju električne energije do krajnjih potrošača. Distribucija električne energije počinje sa 110 kV naponskim nivoom (koji se još uvijek koristi i za prijenos električne energije), zatim dolazi 35 kV (koji se polako napušta), 20 kV (prvenstveno u ruralnim područjima) te 10 kV (obično u urbanim sredinama) sa tendencijom prelaska na jedinstveni 20 kV sredjenaponski distribucijski nivo. Sa tog sredjenaponskog nivoa napon se direktno transformira u centrima potrošnje na, krajnim potrošačima upotrebljivi, 400/230 V nivo (niski napon). Ovaj naponsko nivo ima svojih ograničenja, kao što su kapacitet prijenosa niskonaponskih kabela kod većih opterećenja, padovi napona kod većih udaljenosti (obično preko 500 m), što pričinjava velike a ponekad i nerješive poteškoće pri napajanju izdvojenih potrošača. Tj. napajanje ovakvih potrošača je kako ekonomski tako i tehnološki teško izvedivo.

Za rješavanje napajanja udaljenih, novih potrošača (šumski objekti i sl.), te za sanaciju loših naponskih prilika u postojećim ruralnim naseljima sa elektrifikacijskim rješenjima iz 50-tih godina prošlog stoljeća, ili pak za napajanje izdvojenih postojećih potrošača manje snage koji se napajaju starom, dotrajalom, obično nadzemnom sredjenaponskom mrežom, predlaže se upotreba novog distribucijskog naponskog nivoa, koji bi, uz potrebni razvoj i tipizaciju, mogao poslužiti kao tehnički bolja i ekonomski isplativija verzija distribucijskog sustava čijom primjenom bi se optimalno tj. efikasno mogli rješavati navedeni slučajevi. S obzirom na dostupnu električnu opremu, kao i tehničku regulativu koja to dopušta, idealno rješenje za taj novi distribucijski nivo bio bi 1 kV distribucijski nivo.

S obzirom da je većina postojeće NN električne opreme dimenzionirana za napone do 1 kV, a i važeći Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona svrstava tu opremu i 1 kV naponski nivo u niskonaponski, ovaj članak će pokazati prednosti ugradnje takvog distribucijskog međusustava u opisanim slučajevima.

2. VRSTE 1 kV DISTRIBUCIJSKIH SUSTAVA

Praktičnu primjenu 1 kV distribucijskog sustava možemo podijeliti na dvije skupine: 20/1/0,4 kV distribucijski sustav, gdje je 1 kV distribucijski sustav zamišljen kao trofazni, "posrednički" sustav između sredjenaponskog i niskonaponskog (0,4 kV) sustava, te na 0,4/1/0,4 kV distribucijski sustav, gdje se 1 kV sustav koristi kao "produžetak" 400 V niskonaponskog sustava koji zbog većih udaljenosti nije u mogućnosti napojiti udaljenog potrošača.

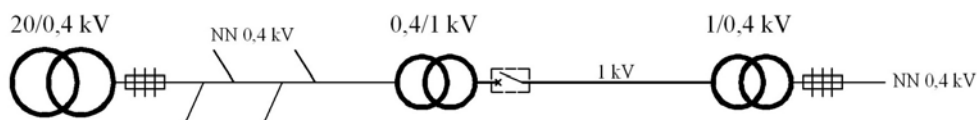
2.1. 20/1/0,4 kV distribucijski sustav

Umjesto da se za napajanje izdvojenog potrošača ili grupe potrošača izvodi skupi (kako u izgradnji tako i u održavanju) SN distribucijski vod, ekonomičnije je izvesti transformaciju 20/1 kV na mjestu postojeće 20 kV mreže, te energiju do potrošača dovesti jeftinijim i jednostavnijim zračnim ili kabelskim vezama, te neposredno prije mjesta predaje energije izvesti transformaciju na 0,4 kV naponski nivo. To rješenje se može primijeniti i za napajanje izdvojenih zaselaka manje potrošnje, (koji nemaju perspektivu razvoja, tj. rasta opterećenja), a koji se sada napajaju sa stupnih 20/0,4 kV transformatorski stanica koje su na SN mrežu spojene dotrajanim zračnim vodovima, (često se kvare, teško su dostupni, a za njihovu zamjenu kvalitetnijim kabelskim 20 kV vodovima nema ekonomske opravdanosti). U tom slučaju mogao bi se dotrajali SN zračni vod zamijeniti novim 1 kV zračnim ili kabelskim vodom, koji bi se na istom mjestu transformirao u 0,4 kV distribucijsku mrežu i napajao potrošače kvalitetnijom električnom energijom.

Primjenom ovoga rješenja postigla bi se i dodatna sigurnost i pouzdanost napajanja potrošača predmetnog područja zato što bi se eliminirala slaba dionica 20 kV voda uz pouzdano napajanje svih potrošača, u slučaju kratkog spoja u 1 kV mreži pravovremeno bi reagirao i kvar odvojio prekidač na početku 1 kV voda, ugrađen odmah uz 20/1 kV transformator, te ne bi došlo do isključivanja cijele 20 kV mreže tog područja. Da je kvar nastao u postojećoj 20 kV zračnoj mreži, što se zbog dotrajalosti i izvedbe sigurno često i događa, kvar bi se morao isključivati u napojnoj trafostanici na tom 20 kV vodnom polju.

U ovakvom sustavu kapacitet prijenosne moći 1 kV sustava ograničava prijenosna moć 0,4 kV sustava na koji je spojen. Obično su tu u pitanju manje snage jednog ili par izdvojenih potrošača, do 30 kW trofazne snage. Dužina 1 kV mreže ne predstavlja ograničavajući faktor na mrežu koliko priključna snaga, jer najčešće se 1 kV sustav spaja na kraj postojeće 0,4 kV mreže, koja je i tako obično na granici svojih kapaciteta, te teret 1 kV sustava pridonosi dodatnom opterećenju i padu napona na kraju postojeće 0,4 kV mreže.

Bez obzira na nedostatke, ovakav sustav je vrlo primjenjiv u distribucijskim poduzećima, jer je jednostavan i jeftin za ugradnju. Trebalo bi, prije šire primjene, ipak tipizirati rješenje prema kojemu bi se razvila proizvodnja malih, laganih i jeftinih 1/0,4 kV transformatora i zaštitnih uređaja, te specijalizirala montaža kako pojedinih elemenata tako i sustava kao cjeline.



Slika 3 Primjer 0,4/1/0,4 kV distribucijskog sustava

3. SUSTAV UZEMLJENJA

Kod 20/1/0,4 kV, kao i kod trofaznih 0,4/1/0,4 kV distribucijskih sustava, 1 kV sustav bi se izvodio kao trofazni, sa 3 vodiča, kao i SN distribucijski sustav. Slično kao i kod SN sustava, i u 1 kV mreži nam je cilj ograničiti veličinu struje jednopolnog kratkog spoja (zemljospoja) te tako smanjiti opasne napone dodira i koraka koji se mogu pojaviti na uzemljivačkim sustavima i kod potrošača.

Zbog toga se predlaže izolirana izvedba sustava uzemljenja, tj. da svi aktivni dijelovi 1 kV mreže budu izolirani od zemlje. Izvodilo bi se samo zaštitno uzemljenje metalnih dijelova konstrukcije i transformatora 1 kV sustava. To će olakšati izvedbu uzemljenja, pogotovo kod zračnih mreža, te smanjiti zahtjeve na postignuti otpor uzemljenja, ali će s druge strane postaviti strože zahtjeve na izvedbu zaštite, o čemu će biti riječ u slijedećem poglavlju.

Na 1 kV zvjezdište transformatora bi se spojio odvodnik prenapona, za slučaj da se pojave opasni prenaponi u mreži, obično preneseni iz 20 kV distribucijske mreže. Pritom treba pažljivo odabrati prorađni napon odvodnika, da se ne pojavljuju male odvodne struje i pri normalnom pogonu, što bi moglo rezultirati krivom prorađom zemljospojne zaštite.

NN 0,4 kV distribucijski sustav će i dalje ostati direktno uzemljen, kao i do sada, te se u njemu, u bilo kojoj izvedbi napojnih distribucijskih sustava, izvedbe sustava uzemljenja i zaštita ne mijenjaju.

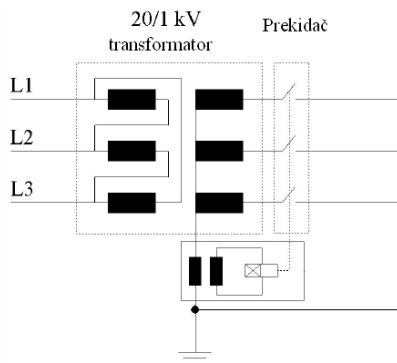
4. KONCEPCIJA ZAŠTITE 1 kV SUSTAVA

Zaštita u 1 kV distribucijskim mrežama izvodila bi se nadstrujnim i kratkospojnim te zemljospojnim relejima i prekidačima za nazivne napone od 1 kV. Zaštitna oprema bi se montirala u prikladni ormarić ovješni na stup sa transformatorom (kod zračnih mreža), ili u samostojeći razvodni ormarić (kod kabelskih mreža). Izvedba zaštite sa prekidačima je nešto skuplja od osigurača, ali dopušta finija podešenja zaštite, te ne ograničava dužinu 1 kV mreže dosegom zaštite kao osigurač.

Nadstrujna i kratkospojna zaštita bi služila za zaštitu od preopterećenja i kratkog spoja 1 kV kabela, te 1/0,4 kV energetskog transformatora, a i kao rezervna zaštita od kratkog spoja 0,4 kV mreže.

Zemljospojna zaštita ovisi o načinu uzemljenja 1 kV mreže. Kod direktno uzemljene 1 kV mreže, (što se ne preporuča), bila dovoljna nadstrujna zaštita, dok je kod izoliranih mreža izvedba i detekcija struja zemljospoja nešto zahtjevnija. Zemljospojna zaštita mogla bi se, kao i kod izoliranih (IT sustava) 0,4 kV mreža, izvoditi mjerenjem izolacije faznih vodiča. Zemljospojna zaštita mogla bi se izvesti i mjerenjem nulte (diferencijalne) struje, no ona je nepouzdana za kvarove s nešto većim prijelaznim otporima. Pouzdana metoda detekcije bila bi metoda sa mjerenjem napona otvorenog trokuta tercijarnog namota transformatora, no to komplicira i poskupljuje izvedbu energetskog transformatora.

Na kraju, metoda koja zadovoljava i kvalitetom i cijenom izvedbe je metoda detekcije zemljospoja mjerenjem napona između zvjezdišta transformatora i zaštitnog uzemljenja. Ona se bazira na činjenici da pri pojavi zemljospoja dolazi do nesimetrije u mreži, te da nulti napon sustava raste. On se mjeri naponskim transformatorom spojenim između zvjezdišta i zaštitnog uzemljenja, a na njegov sekundarni namot su spojeni vremenski relej (za vremensko zatezanje prorade) i isključni relej koji okida prekidač i isključuje kvar. Sva ta oprema smješta se zajedno s prekidačem u ormarić sekundarne opreme.



Slika 4 Zemljospojna zaštita izvedena mjerenjem napona između zvjezdišta transformatora i zaštitnog uzemljenja

5. KOMPONENTE 1 kV DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

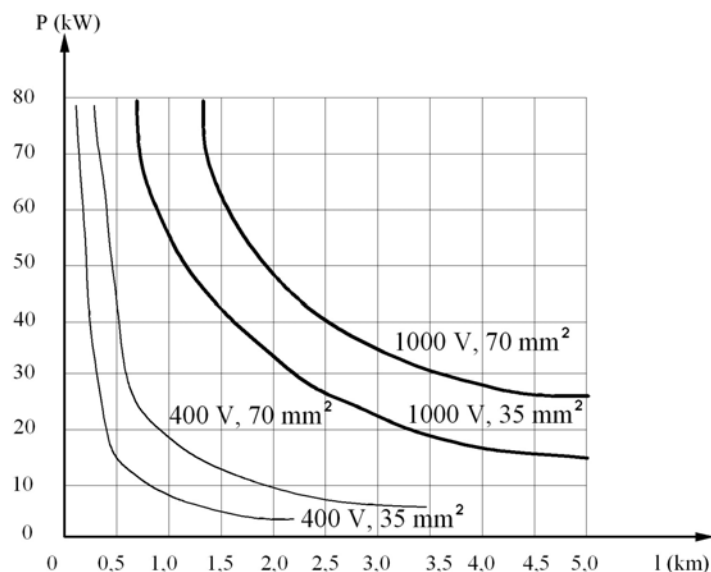
5.1. Kabeli i kabelski pribor

NN kabeli, koji se najčešće koriste u izgradnji NN mreža, kako zračnih tako i podzemnih, tipa X00-A te XP00-A, konstruirani su za nazivni napon od 1000 V, dakle mogu se koristiti i za 1 kV distribucijski sustav. Može se zaključiti da se troškovi izgradnje 0,4 i 1 kV mreže, što se tiče kabela i kabelskog pribora, ne razlikuju.

U odnosu na 10(20) kV zračnu mrežu (dalekovode), koji se izvođe golim vodičima, i koji imaju puno strože zahtjeve s obzirom na izolacijske razmake, potrebne prosjeke u šumi, razmake od okolnih objekata i slično, 1 kV zračna mreža bi se mogla izvoditi sa NN samonosivim kabelskim snopom, čija izvedba je puno jeftinija i jednostavnija, sa tipiziranom ovjesnom opremom i betonskim i drvenim (metalnim) stupovima, a za koje su uvjeti prosjeke i godišnjeg održavanje bitno manji a time i jeftiniji.

Kabelski 1 kV distribucijski vod se također može jeftinije i jednostavnije polagati od SN kabelskih vodova, pogotovo ako se koriste ojačani kabeli sa mehaničkom zaštitom (kao npr. XP41) koji bi se mogli jednostavno polagati uz iskop kanala "frezanjem" te neposrednim polaganjem i zatrpavanjem kanala "pluženjem", pogotovo na slobodnom zemljištu, uz cestu ili u šumi. S obzirom da cijena zemljanih radova iskopa i zatrpavanja kabelskog kanala kod izgradnje SN kabelskog voda zna narasti i do 20-30% ukupne investicije, a i SN kabelski pribor (spojnice i završeci), te cijena SN kabela koja je 3 puta veća od NN kabela ukazuju da bi se upotrebom 1 kV prijenosa postigle značajne investicijske uštede.

Kabelski završeci, spojnice, ovjesni i drugi kabelski pribor također je dimenzioniran za napone do 1 kV, što omogućava jednostavnu primjenu u takvom sustavu. I kabelski razvodni ormari, koji se sada koriste u 0,4 kV distribucijskoj mreži mogu se koristiti za 1 kV distribucijski sustav, jer izolacijski razmaci, potporni izolatori i konstrukcija odgovaraju naponima do 1 kV. Iako se kabelski ormari u 1 kV sustavu ne bi koristili za grananje mreže, jer je 1 kV distribucijski sustav zamišljen kao zrakasti, radijalni, a grananje i zaštita pojedinog izvoda je potrebna samo na početku izvoda, kod samog transformatora, poželjno je primijetiti da su razvodni ormari za 1 kV napon dostupni.



Slika 5 Usporedba prijenosne moći NN kabelskih vodova u ovisnosti o dužini voda i naponskom nivou

5.2. Energetski transformatori

Kao pojedinačni uređaji, distribucijski transformatori, ovisno o nazivnoj snazi, mogu manje ili više utjecati na ukupni iznos investicije. Korištenje 1 kV prijenosa energije zahtjeva više naponskih transformacija, a samim time i više ugrađenih energetskih transformatora, što može znatno utjecati na iznos investicije i dovesti u pitanje njenu isplativost u odnosu na konvencionalne distribucijske sustave.

Uobičajeno je od distribucijskih transformatora zahtijevati neosjetljivost na nesimetrična opterećenja koja se često javljaju u NN mrežama, te se tako preporučaju transformatori vektorske grupe spoja Dyn i Yzn. Također, kao i kod sadašnjih distribucijskih transformatora, poželjno je da transformatori imaju mogućnost kontrole napona regulacijskim preklopkama u beznaponskom stanju.

5.2.1. 10(20)/1 kV distribucijski transformatori

Moguće je konstrukcijski preraditi postojeće 10(20)/0,4 kV da bi se dobili SN/1 kV energetski transformatori. Općeniti izolacijski stupanj transformatora i tako određuje visokonaponska strana transformatora, a ona je u ovom slučaju jednaka za oba transformatora. Dakle, nije potrebno ništa mijenjati u izolacijskim razmacima i materijalima, samo je potrebno izmijeniti (smanjiti) broj zavoja visokonaponskog namota. Budući da dimenzija jezgre ovisi o snazi transformatora, ako oba transformatora imaju jednake nazivne snage, i veličina jezgre će zadovoljavati. Dakle, 10(20)/1 kV transformatori ne razlikuju se u dimenzijama od tradicionalnih 10(20)/0,4 kV distribucijskih transformatora.

5.2.2. 1/0,4 kV distribucijski transformatori

Do sada nije bilo posebnih zahtjeva i interesa za izradu specijalnih 1/0,4 kV distribucijskih transformatora, tako da se i u nekolicini rješenja što su se do sada primjenjivala koristili distribucijski transformatori 10/0,4 kV male snage da bi se napravili 1/0,4 kV. No, takva rješenja nisu optimalna ako se primjena 1 kV distribucijskom nivoa želi ozbiljnije koristiti. Najveći nedostatak je preveliki izolacijski nivo koji se na takav način postiže (zadržava), a što poskupljuje proizvod, a i značajno povećava njegove dimenzije. Sa smanjenim dimenzijama pojednostavila bi se i montaža takvog transformatora, koji bi se mogao postaviti na stup, ali i u posebno razvijene distribucijske ormare, ako se radi o kabelskoj 1 kV i/ili 0,4 kV mreži. U te ormare bi se uz transformator ugradili i rasklopni i zaštitni uređaji.

Snage takvih transformatora obično obuhvaćaju 10, 30, 50 i 100 kVA. Također je od velikog značaja da se transformatori izvedu sa regulacijskim preklopkama da bi se mogli regulirati izlazni naponi mreže. Također, potrebno je i gubitke energije svesti na minimalnu mjeru, s obzirom da imamo barem 2 transformacijska mjesta više, (preporuča se $u_k < 4\%$). Smanjeni u_k će omogućiti i manje prigušenje struje kratkog spoja, što je također bitno u ovakvom sustavu.

5.3. Zaštitni uređaji

Uobičajene izvedbe NN prekidača su za napone do 690 V, no specijalne izvedbe prekidača za 1 kV kod većine renomiranih proizvođača postoje, i ne predstavljaju značajnije povećanje investicije. Sama upotreba NN prekidača je nešto skuplja nego što bi bila upotreba NN osigurača u 0,4 kV mreži, ali s tehničke strane prednosti su očite kako po kriterijima sigurnog rastavljanja i manipulacije tako i po kriteriju karakteristika i fleksibilnosti zaštite. Zaštita prekidačima ne ograničavaju duljinu šticećenog vodiča, kao što je to slučaj kod dosega zaštite s osiguračima.

6. ZAKLJUČAK

Iz članka je vidljivo da je 1 kV distribucijski sustav primjenjiv u specifičnim prilikama, i da bi se pri tome značajne uštede postigle korištenjem 1 kV sustava, kako u izgradnji tako i pri održavanju i korištenju. Primjenjivao bi se kod napajanja udaljenih, novih potrošača, pri sanaciji loših naponskih prilika u postojećim, rijetko naseljenim naseljima, kao zamjena za dotrajale i nepouz dane SN zračne vodove u ruralnim sredinama, te kod produžetaka postojećih NN mreža zbog napajanja izdvojenih potrošača manje snage. Da bi se sustav do kraja implementirao kao tipsko rješenje potrebno je poraditi na izvedbi 20/1 i 1/0,4 kV distribucijskih transformatora, te na tipizaciji montaže, izvedbe sustava zaštite i uzemljenja.

Svakako bi bilo korisno tipizirati kako TS 10(20)/1 kV tako i TS 1/0,4 kV koje trebaju biti jednostavne izvedbe, a pouzdane i sigurne u pogonu. Naročitu pozornost bi trebalo posvetiti sastavnim komponentama ovih sustava koji moraju biti dostupni i lako zamjenjivi, tj. treba se iznaći optimalno rješenje koje će sigurno riješiti problem napajanja izdvojenih potrošača, a neće narušiti raspoloživost i pouzdanost napajanja ostalih (postojećih) potrošača.

1 kV sustav donosi mnoge prednosti s obzirom na prijenosnu moć i duljinu prijenosa u odnosu na 10(20) kV i 0,4 kV mrežu, te bi te prednosti trebalo prepoznati i iskoristiti.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona, Službeni list broj 53/88.
- [2] Lappeenranta university of technology, 20/1/0,4 kV three voltage level distribution system, 2005.
- [3] Lojhala, Kaipia, Lassila, Partanen, Overview to economical efficiency of 1000 V low voltage distribution system, NORDAC, Espo 2004.
- [4] Lojhala, Sahko, Lassila, Partanen, The three voltage level distribution using the 1000 V low voltage system, CIRED, Turin, 2005.
- [5] Kladnik, Alternativno napajanje redko naseljenih hribovitih područij z napetostjo 950 V, slokoCigre, Maribor, 1995.