

## UTICAJ ZAŠTITNOG UŽETA NA UGROŽENOST INDUSTRIJSKIH 35 KV MREŽA USLED ATMOSFERSKIH PRAŽNJENJA

M. Savić, Elektrotehnički fakultet Beograd, Srbija

S. Tatalović, Elektrotehnički fakultet Beograd, Srbija

### KRATAK SADRŽAJ

U radu je prikazana analiza mogućnosti zamene faznih provodnika 35 kV distributivnog voda sa provodnicima većeg poprečnog preseka radi povećanja propusne moći voda, zadržavajući postojeće stubove. Zbog povećanja težine faznih provodnika većeg poprečnog preseka, da bi se obezbedilo mehaničko naprezanja stubova u dozvoljenim granicama, zaštitno uže se mora demontirati. Pokazano je da u slučaju stubova sa malom impedansom uzemljenja broj preskoka na vodu se pri skidanju zaštitnog uzežeta značajno povećava, dok u slučaju velikih impedansi uzemljenja stubova broj preskoka usled atmosferskih pražnjenja može čak da bude i smanjen kada se skine zaštitno uže. Pokazano je da postoji ugroženost transformatora u TS 35 kV i u postojećem stanju kada postoji zaštitno uže, ali se ugroženost još više povećava kada se ono skine. Uvođenjem dodatnog seta odvodnika prenapona u svakom transformatorskom polju se svi energetske transformatori mogu potpuno zaštititi od atmosferskih prenapona. Savetuje se postavljanje linijskih štapnih kompozitnih izolatora sa spoljašnjim plaštom od silikonske gume zbog boljih karakteristika.

**Ključne reči:** Nadzemni vod, zaštitno uže, energetski transformator, koordinacija izolacije

### SUMMARY

In the paper the possibility of 35 kV overhead line phase conductors replacement with greater cross section conductors to improve transmission ability, keeping the same towers, is analyzed. To keep the tower mechanical stress under the critical value, the existing shield wire must be dismantled. In the case of overhead line with shield wire with small tower footing impedance, the annual number of flashovers is significantly smaller compared to the same line without shield wire. On the contrary, if the tower footing impedance is great, the annual number of flashovers can be even smaller for the line with dismantled shield wire. Power transformers in substation are not adequately protected from lightning overvoltages in the case of impinging line with shield wire. In the case of impinging line without shield wire the lightning performance of power transformers is worse. If the additional set of surge arrester is applied in every transformer bay, the power transformer can be completely protected. It is suggested to apply rod composite insulators with silicon rubber covering.

**Key words:** Overhead line, shield wire, power transformer, insulation coordination.

## 1. UVOD

Nadzemni vodovi srednjeg napona 10, 20 i 35 kV u distributivnim i industrijskim mrežama se uobičajeno rade bez zaštitnog užeta, ali se na određenom broju raspona ispred transformatorske stanice preporučuje postavljanje zaštitnog užeta radi bolje prenaponske zaštite transformatorske stanice. Postavljanje zaštitnog užeta na vodovima srednjeg napona, posebno ako je tlo velikog specifičnog otpora, nema veliku zaštitnu ulogu zbog toga što pri udaru groma u vrh stuba ili u zaštitno uže veoma često dolazi do povratnog preskoka zbog proticanja struje pražnjenja kroz stub i uzemljivač stuba. Zbog relativno niskog preskočnog napona izolacije, broj povratnih preskoka na vodu velikog otpora uzemljenja može biti procentualno veliki i približiti se broju atmosferskih udara u sam vod.

U radu se analizira potreba za primenom zaštitnog užeta na dalekovodu 35 kV, kada se vrši zamena postojećih faznih provodnika preseka 70 mm<sup>2</sup> sa provodnikom 95 mm<sup>2</sup> na postojećim stubovima u cilju povećanja propusne moći dalekovoda. Ukoliko bi se skinulo zaštitno uže, tada bi se mogli koristiti fazni provodnici povećanog preseka, a da mehaničko naprezanje stubova ostane u dozvoljenim granicama. Posmatrani dalekovod napaja električnom energijom transformatorsku stanicu TS 35/6 kV za koju je sprovedena analiza i predlog mera vezanih za koordinaciju izolacije u promenjenim uslovima rada kada nema zaštitnog užeta na prilaznom vodu.

Analize su urađene specijalizovanim programom za proračun atmosferskih prenapona i rizika kvara izolacije. U determinističkom postupku proračuna se simulacije rade sa strujnim talasima prvih negativnih udara čiji parametri (amplituda i strmina čela struje) mogu biti premašeni sa verovatnoćom od 2% prema statističkim podacima CIGRE [1]. Korišćeni su strujni talasi amplitude 121 kA i strmine struje 43 ka/μs. U slučaju analize atmosferskih pražnjenja u nadzemne vodova kao izlazni rezultat se koristi godišnji broj preskoka na 100 km. U slučaju kada se razmatra ugroženost opreme u postrojenju rezultat je srednje vreme između dva kvara izolacije **MTBF** – (Mean Time Between Failures).

## 2. ODREĐIVANJE GODIŠNJEG BROJA ATMOSFERSKIH PRAŽNJENJA NA 100 KM VODA

Atraktivna zona voda je horizontalna površina zemlje u koju bi se događala pražnjenja kada ne bi bilo nadzemnog voda i prema teoriji udarnog rastojanja, veličina privlačnog rastojanja voda može se odrediti kao [2]:

$$R_a = 14 \cdot H^{0.6} \text{ (m)} \quad (1)$$

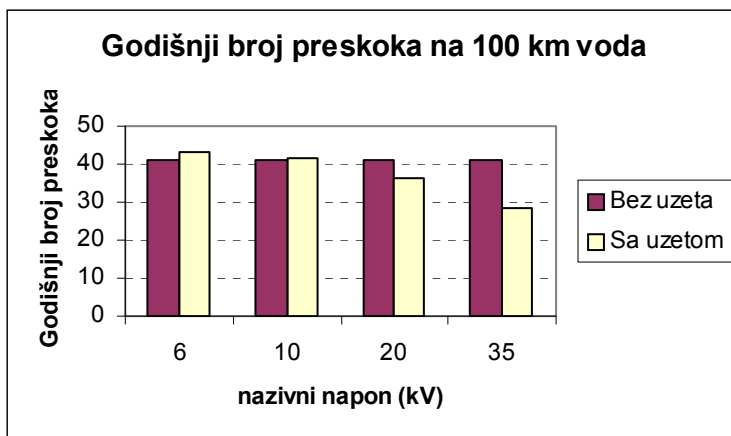
gde su :  $R_a$  - prosečna veličina privlačnog rastojanja voda (m),

$H$  – visina najvišeg provodnika (zaštitnog užeta na vrhu stuba u slučaju voda sa zaštitnim užetom ili najvišeg faznog provodnika za slučaj voda bez zaštitnog užeta) .

Ukoliko je vod snabdeven zaštitnim užetom, koje je na većoj visini od faznih provodnika, atraktivna zona voda je veća nego u slučaju voda bez zaštitnog užeta. Broj atmosferskih udara na 100 km godišnje za vod sa jednim zaštitnim užetom, visine  $H$  (m), pri gustini pražnjenja  $N_g$  (broj udara po km<sup>2</sup>) godišnje iznosi [3]:

$$n_{100km, god} = 0.1 \times N_g \times 28H^{0.6} \quad (2)$$

Povratni preskok se javlja najčešće kao posledica udara groma u vrh dalekovodnog stuba ili u zaštitno uže kada sa uzemljene konzole dolazi do preskoka na fazni provodnik. Na verovatnoću povratnog preskoka najveći uticaj imaju pored podnosivog napona izolacije impedansa uzemljenja stubova i visina stuba do najviše konzole. Povratni preskok može nastati i na vodu bez zaštitnog užeta kada je vrh stuba iznad najvišeg faznog provodnika. Na slici 2.1. prikazana je zavisnost godišnjeg broja preskoka na vodu u zavisnosti od visine nazivnog napona voda za slučaj voda sa i bez zaštitnog užeta, identične geometrije koja je nezavisna od naponskog nivoa. Usvojeni geometrijski parametri voda odgovaraju tipičnim parametrima 35 kV voda sa otporom uzemljenja 15 Ω, koji će u daljem tekstu biti analiziran. Cilj ove analize je da se pokaže u kojoj meri zaštitno uže ima svoju zaštitnu ulogu u sistemima različitih naponskih nivoa.



Slika 2.1: Upoređenje broja povratnih preskoka pri atmosferskim pražnjenjima u vod sa zaštitnim užetom u odnosu na broj preskoka pri pražnjenjima u vod bez zaštitnog užeta za različite naponske nivoe

Na osnovu slike 2.1 se može zaključiti da pri nižem naponskom nivou (6 kV) broj preskoka na vodu sa zaštitnim užetom može da bude veći nego na vodu bez zaštitnog užeta jer je atraktivna zona voda sa užetom veća. a gotovo svaki atmosferski udar u vod izaziva povratni preskok. Sa porastom nazivnog napona broj povratnih preskoka se smanjuje u odnosu na broj preskoka na vodu bez zaštitnog užeta.

### 3. REZULTATI ANALIZE OSETLJIVOSTI UGROŽENOSTI IZOLACIJE NADZEMNOG VODA OD PARAMETARA STUBOVA

Analize osetljivosti ugroženosti izolacije nadzemnog voda rađena je tako što je jedan od uticajnih parametara variran, a ostali parametri su bili konstantni. Bazni parametri u odnosu na koje je bila vršena analiza osetljivosti dati su u tabeli 3.1.

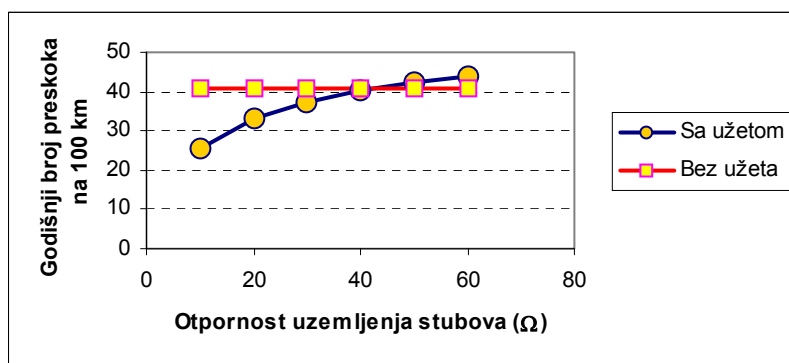
TABELA 3.1 - Bazni parametri nadzemnog 35 kV voda

| Parametar                                 | Vrednost |
|-------------------------------------------|----------|
| Visina vešanja zaštitnog užeta H (m)      | 17.45    |
| Visina vešanja faznog provodnika          | 15.65    |
| Dužina raspona d(m)                       | 134      |
| Otpornost uzemljivača stuba R( $\Omega$ ) | 15       |

Impedansa uzemljenja stuba utiče na verovatnoću pojave povratnog preskoka u slučaju kada je vod snabdeven zaštitnom užetom. Pri povratnom preskoku u blizini transformatorske stanice na faznom provodniku se pojavljuje talas velike strmine i amplitude koja je srazmerna impedansi uzemljenja, koji se prostire ka transformatorskoj stanici Sa druge strane, u slučaju pražnjenja u fazni provodnik, impedansa uzemljenja stuba ne utiče na verovatnoću pojave preskoka na vodu. Nakon pojave preskoka, impedansa uzemljenja stuba utiče na maksimalne vrednosti prenaponskih talasa koje se mogu pojaviti na faznom provodniku voda i prostiru se ka transformatorskoj stanici ukoliko je atmosferski udar u njenoj blizini. Maksimalne vrednosti prenapona na faznim provodnicima na rasponima ispred postrojenja su važne za procenu ugroženosti transformatora u postrojenjima. U prikazanim analizama uzemljivač je modelovan pojednostavljeno, kao konstantan omski otpor, ne uzimajući u obzir frekvencijsku zavisnost impedanse uzemljivača u toku udarnog perioda. Ovo zanemarenje može da utiče na rezultate proračuna, ali ne i na generalne zaključke o promeni ugroženosti voda ili postrojenja od atmosferskih pražnjenja ukoliko se demontira zaštitno uže.

Izvršena je analiza uticaja otpornosti uzemljenja stubova na ugroženost 35 kV voda za postojeće stanje kada je vod sa zaštitnim užetom, pri čemu je vršena varijacija vrednosti otpornosti uzemljenja stubova u širokom opsegu od 5 do 60  $\Omega$ . Na istom dijagramu prikazan je godišnji broj preskoka na 100 km voda usled direktnog udara u fazni provodnik voda bez zaštitnog užeta, koji ne

zavisi od impedanse uzemljenja stuba. Rezultati proračuna godišnjeg broj preskoka su prikazani na slici 3.1.



Slika 3.1: Očekivani godišnji broj preskoka za 100 km voda sa i bez zaštitnog užeta

Broj preskoka na vodovima usled atmosferskih prenapona značajno raste sa porastom otpora uzemljenja kad je vod sa zaštitnim užetom, dok u slučaju kada je zaštitno uže skinuto broj preskoka je konstantan. Za otpor uzemljenja od oko 50 Ω broj preskoka se izjednačava za vod sa i bez užeta. To znači da bi u slučaju skidanja zaštitnog užeta broj preskoka na vodu sa otporom uzemljenja 5 Ω porastao za oko 50% u odnosu na vod sa zaštitnim užetom, dok se u slučaju voda čiji je otpor uzemljenja 50 Ω broj preskoka ne bi promenio. Za prosečnu vrednost otpornosti uzemljivača od oko 15 Ω, razlika u povećanju broja preskoka usled skidanja zaštitnog užeta je oko 30 %. Ovoliki porast broja preskoka nije značajan za eksploataciju voda.

Prilikom modelovanja prelaznih procesa usled atmosferskih pražnjenja, najjednostavniji model dalekovodnog stuba koji se koristi u tehničkim proračunima je u obliku kratkog voda čija se karakteristična impedansa za stubove tipa «jela» izračunava prema relaciji [3]:

$$Z_s = 30 \ln \left[ \frac{2(H^2 + R^2)}{R^2} \right] \quad (3)$$

gde su:  $H$  - visina od podnožja do vrha stuba,  $R$  - ekvivalentni poluprečnik kruga opisanog oko baze stuba.

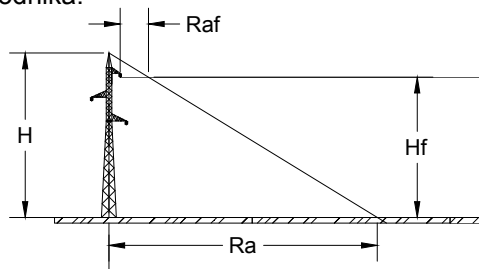
Preskočna karakteristika izolacionog lanca usvojena je u obliku V-t krive prema [3] u obliku:

$$U_p = K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \quad (4)$$

gde su:  $K_1=400$  d;  $K_2=710$  d,  $d$  - rastojanje između zaštitnih armatura ili najkraće rastojanje između konzole stuba i faznog provodnika izraženo u (m).

Kada se izvrši skidanje zaštitnog užeta sa nadzemnog voda, a stubovi ostaju neizmenjeni, tada zbog veće visine vrha stuba od zaštitnog užeta može doći do određenog broja atmosferskih udara u vrh stuba, koji ima veću atraktivnu zonu od faznog provodnika, što je u ovom radu posebno analizirano.

Na slici 3.2 prikazan je način određivanja povećanje atraktivne zone voda zbog uticaja vrha stuba iznad faznog provodnika.



Slika 3.2: Analiza uticaja atraktivne zone vrha stuba voda sa koga je skinuto zaštitno uže na ukupnu atraktivnu zonu voda:

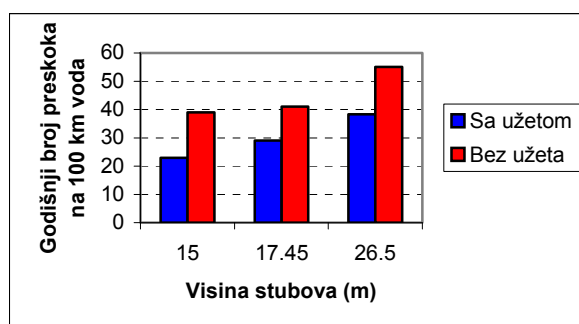
Oznake na slici 3.2 imaju sledeće značenje:  $H$ -visina vrha stuba,  $R_a$ -atraktivna površina stuba kada ne bi bilo faznog provodnika,  $R_{af}$  – atraktivna zona vrha stuba na visini faznog provodnika,  $H_f$  visina faznog provodnika.

U Tabeli 4.1 date su visine vrha stuba i tačke vešanja najvišeg faznog provodnika za 3 različite visine stubova.

TABELA 4.1 – Visina vrha stuba i tačke vešanja najvišeg faznog provodnika

| Ukupna visina stuba(m)                | 15    | 17.45 | 26.5 |
|---------------------------------------|-------|-------|------|
| Visina najvišeg faznog provodnika (m) | 13.55 | 16    | 25   |

Na slici 3.3 prikazani su rezultata proračuna godišnjeg broja preskoka u zavisnosti od visine stubova za vod bez i sa zaštitnim užetom



Slika 3.3: Rezultati proračuna godišnjeg broja preskoka u zavisnosti od visine stubova za vod bez i sa zaštitnim užetom

Proračun pokazuje da je najveće procentualno povećanje broja preskoka usled atraktivnog dejstva vrha stuba u odnosu na visinu faznog provodnika kod voda bez zaštitnog užeta samo 2.3%, što je zanemarljiv uticaj i nije ga potrebno uzimati u obzir.

Do povećanja godišnjeg broja preskoka sa povećanjem visine stubova dolazi samo zbog povećanja atraktivne zone voda kod voda bez zaštitnog užeta, a u slučaju povratnih preskoka na vodu sa zaštitnim užetom, porast broja preskoka raste nešto brže zbog efekta povećanja pada napona na stubu koji se povećava sa visinom stuba. Za stub visine 17.5 m, što je prosečna visina stuba na vodu 35 kV, kada je prosečan otpor uzemljenja stubova  $15 \Omega$ , povećanje broja preskoka pri skidanju zaštitnog užeta u odnosu vod kada uže postoji iznosi 41.3%. Preskoci pri atmosferskim pražnjenjima predstavljaju prolazne kvarove koji se eliminišu tehnikom automatskog ponovnog uključanja (APU), mada u manjem broju slučajeva (prema nekim informacijama oko 10%) može da dođe do proboja pojedinih izolatorskih članaka kada se koriste porculanski izolatorski lanci, što izaziva slabljenje izolacije i mogućnost daljeg proboja i nastanku trajnog kvara. Stoga se sugeriše da se pri preradi voda izvrši zamena porculanskih izolatorskih lanaca štapnim kompozitnim izolatorima sa silikonskim plaštom. Razlozi za zamenu porculanskih izolatora kompozitnim su sledeći:

- znatno veći probojni napon od preskočnog, tako da je praktično proboj izolatora usled atmosferskog prenapona nemoguć,
- znatno bolja svojstva u pogledu podnošenja atmosferskog zagađenja od porculanskih ili staklenih izolatora zbog hidrofobnosti površine. Iz tog razloga ne može da dođe do formiranja tankog sloja vode po površini izolatora koja u uslovima zagađenja provodi malu struju, koja može da isuši deo površine i izazove delimični preskok, koji ponekad prerasta u kompletan preskok.
- Znatno manja težina od porculanskih ili staklenih lanaca za isti napon.
- Otpornost na udare i nelomljivost.
- Lakši transport i održavanje zbog nelomljivosti i male težine.

## 5. UGROŽENOST ENERGETSKOG TRANSFORMATORA I OSTALE OPREME U POSTROJENJU NAKON SKIDANJA ZAŠTITNOG UŽETA

Skidanjem zaštitno užeta sa nadzemnog voda, godišnji broj preskoka na vodu postaje nezavistan od otpora uzemljenja stubova, ali da otpor uzemljenja utiče na visinu prenapona, koji svojim prostiranjem po faznim provodnicima prilaznog voda mogu da ugroze izolaciju opreme u postrojenju. Zbog toga je izvršena analiza ugroženosti energetskih transformatora od atmosferskih prenapona kada se napajaju preko prilaznog voda sa kojeg je skinuto zaštitno uže.

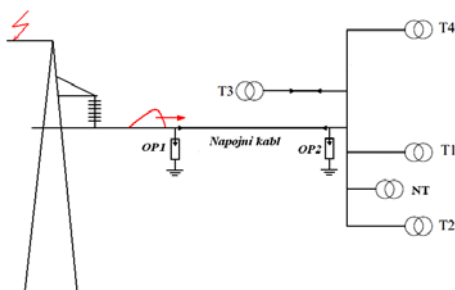
Kao kriterijum ugroženosti izolacije opreme u postrojenju usvaja se određeni broj godina bez kvara izolacije, koji je dat za izolaciju pojedine opreme u tabeli 5.1.

TABELA 5.1- Usvojene maksimalne dozvoljene vrednosti broja godina bez kvara izolacije (MTBF) za pojedinu opremu

| Naziv opreme                 | MTBF (God.) |
|------------------------------|-------------|
| Naponski merni transformator | 200         |
| Kablovska završnica          | 200         |
| Energetski transformator     | 600         |

Na slici 5.1 prikazana je dispozicija analiziranog postrojenja nazivnog napona 35 kV, u sadašnjem izvođenju kada je napojni vod sa zaštitnim užetom. Jedan set odvodnika prenapona postavljen na prvom stubu ispred postrojenja kod kablovske završnice 35 kV prilaznog kabla dužine 49 m kojim se napaja postrojenje. Na drugom kraju kabla, ispred prolaznog izolatora na zidu zgrade razvodnog postrojenja postavljen je drugi set identičnih odvodnika prenapona, klasičnog izvođenja, sa SiC rezistorima i iskrištem. Četiri energetska transformatora T1, T2 T3 i T4 se uopšte ne štite odvodnicima prenapona. Transformator T3 je priključen na postrojenje preko kratkog kabla, a ostali transformator su priključeni neizolovanim šinama. Pri statističkoj analizi atmosferskih prenapona u postrojenju razmatrana je najkritičnija uklopna šema kada je samo jedan napojni vod i jedan energetski transformator uključen na sabirnice. U zamenskoj šemi je sa NT obeležen naponski transformator u mernoj ćeliji.

Razmatrani su udari u stubove u rasponu ispred postrojenja i izvršen je klasičan proračun atmosferskih prenapona koji se mogu pojaviti na priključcima transformatora i statistički proračun srednjeg broja godina između dva kvara izolacije transformatora (MTBF). Pri statističkom proračunu je varirano mesto atmosferskog udara duž raspona, uzimajući u obzir da se atraktivna zona voda menja sa visinom najvišeg provodnika duž raspona zbog uticaja ugiba provodnika. Usvojeno je 5 lokacija pražnjenja duž raspona, počevši od udara u stub, udara na 0,25, 0,5, 0,75 i 1 x dužina raspona računata od prvog pogođenog stuba. na taj način uvažena je slučajna lokacija pražnjenja na vodu.



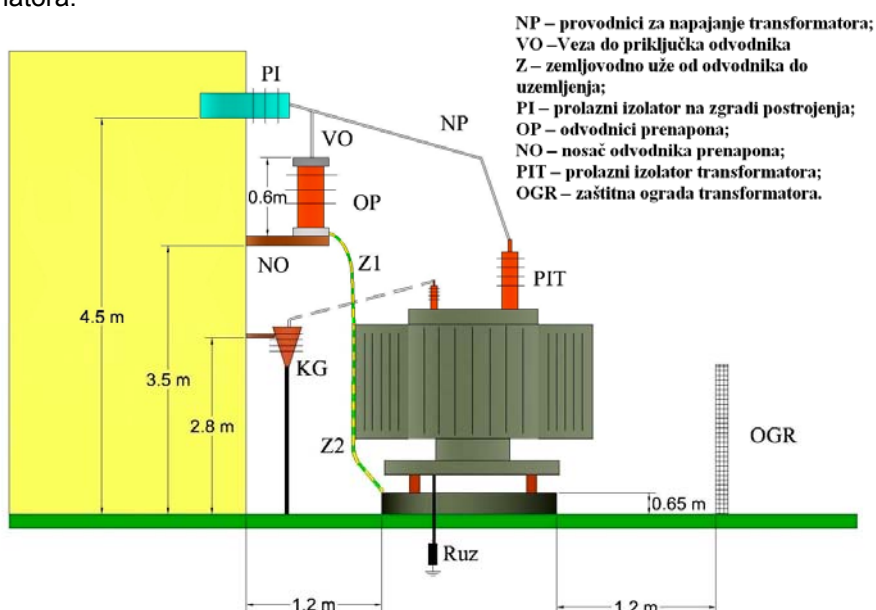
Slika 5.1: Uprošćena dispoziciona šema voda postrojenja štice sa dva seta odvodnika prenapona.

Izvršeno je upoređivanje maksimalnih izračunatih prenapona i srednjeg godina između dva kvara za najugroženiji energetski transformator T4 i za merni transformator NT za sledeće slučajeve:

- Atmosfersko pražnjenje se odvija u prvi raspon ispred postrojenja kada je vod snabdeven zaštitnim užetom i primenjena su 2 seta odvodnika prenapona

- Atmosfersko pražnjenje se odvija u prvi raspon ispred postrojenja kada je vod bez zaštitnog užeta i primenjena su 2 seta odvodnika prenapona
- Atmosfersko pražnjenje se odvija u prvi raspon ispred postrojenja kada je vod bez zaštitnog užeta i primenjena su 3 seta odvodnika prenapona, dodatni set uz energetski transformator.

Treći set odvodnika prenapona priključen je sa ukupnom dužinom veza od odvodnika do transformatora VO+NP koja iznosi 3.5 m i dužinom zemljovoda od donjeg priključka odvodnika prenapona OP do kućišta transformatora 1 m prema slici 5.2. Na slici 5.2 prikazana je dispozicija transformatora, odvodnika prenapona i zgrade razvodnog postrojenja sa dimenzijama. Mora se naglasiti da se postavljanje zemljovoda u obliku trake od donjeg priključka odvodnika prenapona OP do kućišta transformatora i od transformatorskog kućišta do uzemljivača mora uraditi neprekidnim provodnikom kroz koji protiče struja atmosferskog pražnjenja. Kućište transformatora se samo u jednoj tački dovodi na isti potencijal sa potencijalom zemljovoda, da ne bi došlo do proticanja struje atmosferskog pražnjenja kroz transformatorski sud. Ukoliko se primenjuje zaštita kućišta transformatora, u tom slučaju se mora zemljovod najkraćim putem vezati za uzemljivač transformatora.



Slika 5.2: Prostorni prikaz postavljanja dodatnog seta odvodnika uz energetski transformator

Izračunati su maksimalni prenaponi i srednje vreme između kvarova za izolaciju transformatora T4 i naponskog mernog transformatora NT kada se udar odvija u vod koji ima zaštitno užo i u vod koji nema zaštitno užo, a primenjuju se dva ili 3 seta odvodnika prenapona. Rezultati su prikazani u tabeli 5.2.

TABELA 5.2 - Izračunati maksimalni prenaponi i srednje vreme između kvarova izolacije

| Objekat       | 2 seta odvodnika sa zaštitnim užetom |             | 2 seta odvodnika bez zaštitnog užeta |             | 3 seta odvodnika bez zaštitnog užeta |             |
|---------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------|-------------|
|               | U <sub>max</sub> (kV)                | MTBF (god.) | U <sub>max</sub> (kV)                | MTBF (god.) | U <sub>max</sub> (kV)                | MTBF (god.) |
| Energetski TR | 226                                  | 20.4        | 241                                  | 13          | 150                                  | Nema kvara  |
| Naponski TR   | 213                                  | 31.5        | 229                                  | 17.5        | 132                                  | Nema kvara  |

Na osnovu rezultata analize se mogu izvući sledeći zaključci.

1. U slučaju kada napojni vod ima zaštitno užo i primenjuju se dva seta odvodnika prenapona izolacija energetskog i mernog transformatora je ugrožena. Skidanjem zaštitnog užeta sa prilaznog voda povećavaju se prenaponi na energetskom transformatoru za 6.6 % i skraćuje vreme između dva kvara za 36% nego kada se primenjuje zaštitno užo.
2. Kada se uvede dodatni set odvodnika prenapona u sistem napajan preko voda bez zaštitnog užeta, prenaponi se na energetskom transformatoru se smanjuju u odnosu na slučaj sistema napajan preko voda bez zaštitnog užeta sa dva seta odvodnika prenapona za 60.1%. U

slučaju uvođenja dodatnog seta odvodnika prenapona ne postoji više uopšte rizik kvara ni energetskog ni naponskog mernog transformatora od atmosferskih prenapona. Na osnovu izloženog se može zaključiti da se mogu demontirati zaštitna užad sa prilaznog nadzemnog 35 kV voda, što povećava broj preskoka, odnosno prolaznih kvarova usled atmosferskih prenapona na vodu za oko 41.3% u .

## 6. ZAKLJUČAK

1. Broj preskoka na vodovima usled atmosferskih prenapona značajno raste sa porastom otpora uzemljenja stubova kad je vod sa zaštitnim užetom, dok u slučaju kada je zaštitno užet skinuto broj preskoka je konstantan. Za otpor uzemljenja stubova od oko 50  $\Omega$  broj preskoka se izjednačava kod voda sa i bez zaštitnog užeta.
2. Preporučuje se zamena porculanskih izolatorskih lanaca sa štapnim kompozitnim izolatorima sa silikonskim plaštom zbog manje težine, nelomljivosti, boljim karakteristikama u uslovima zagađene atmosfere i manje verovatnoće proboja.
3. Ispitivanjem ugroženosti transformatora u TS „Suva separacija“ od atmosferskih prenapona koji nailaze po nadzemnim vodovima utvrđeno je da su energetski transformatori ugroženi od atmosferskih prenapona i u postojećoj konfiguraciji sistema kada je vod sa zaštitnim užetom, a da skidanje zaštitnog užeta još više povećava ugroženost transformatora.
4. Utvrđeno je da bi se postavljanjem odvodnika prenapona u svako transformatorsko polje postigla potpuna zaštita transformatora od atmosferskih prenapona. Preporučuje se postavljanje savremenih metal-oksidnih odvodnika prenapona bez iskrišta u polimernim kućištima, odnosno površinom izolatora od silikonske gume sa zalivenim aktivnim delom
5. Prilikom postavljanja odvodnika prenapona treba da zbir dužina veza od priključka odvodnika do transformatora i od priključka za uzemljenje odvodnika do zajedničke tačke uzemljenja transformatora i odvodnika bude što je moguće kraći (po mogućstvu kraći od 5 m). U tom slučaju se postiže teorijski potpuna bezbednost transformatora od atmosferskih prenapona koji nailaze po vodovima.

## LITERATURA

1. K. Berger, R. Anderson, H. Kroninger: Parameters of Lightning Flashes; Electra, No 41, Paris, July 1975, pp. 23-33
2. A. J. Eriksson "The Incidence of Lightning Strikes to Power Lines" (IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. PWRD-2, No.3, July 1987, pp 859-867).
3. WG on Lightning Performance of Transmission Lines, "A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, April 1985, pp. 919-927
4. .
5. M. S. Savic: Medium voltage distribution systems lightning performance estimation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, 2003, pp. 910 – 914
6. M. S. Savić: Engineering Method for High-Voltage Substations Lightning Performance Estimation, Proc. IEE, Vol. 136, Pt. C, No. 4, July 1989, pp. 222-229.
7. N. A. Katic, M. S. Savic: Technical and economical optimization of overhead power distribution line lightning protection, IEE Proc. - Generation, Transmission and distribution, Vol. 145 No. 3, May 1998
8. M. S. Savic, Z. Stojkovic: An Expert System for High-Voltage Substation Lightning Performance Estimation, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 3, July 1992, pp. 1223-1231
9. P. Chowdhuri: Estimation of flashover rates of overhead power distribution lines by lightning strokes to nearby ground, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 4, No. 3, July 1989, pp. 1982-1989.
10. CIGRE WG. C4.4.02: Protection of MV and LV Networks against Lightning, Part 1: Common Topics, Cigre Brochure 287, February 2006.
11. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Lines. IEEE Power Engineering Society, Std 1940<sup>TM</sup>-revised 2004.