

REŠENJE JEDNOG PROBLEMA ZAŠTITE ENERGETSKOG TRANSFORMATORA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA U ZGRADI INDUSTRIJSKOG OBJEKTA

**M. Savić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija
Lj. Mirković, Institut za crnu metalurgiju, Nikšić, Crna Gora**

1. UVOD

U industrijskom objektu se dogodio veći broj kvarova (8 do 9) suvih transformatora 10/0.4 kV/kV snage 1000 kVA za vreme grmljavinskih oluja. Zbog toga je izvršena sveobuhvatna analiza sa ciljem da se utvrdi uzrok kvarova i odgovarajućim merama spreče posledice.

Analizirani su sledeći mogući uzroci kvarova:

1. Atmosferski prenaponi koji nailaze iz napojne transformatorske stanice 35/10 kV po kablovskom vodu koji je dugačak oko 200 m do razvodnog postrojenja 10 kV u industrijskom objektu.
2. Atmosferski prenaponi koji nastaju direktnim pražnjenjem u zgradu industrijskog objekta.
3. Oštećenje izolacije usled spoljašnjih uzroka (vlaga, zagađenje).

2. ANALIZA PRENAPONA IZ NAPOJNE TRANSFORMATORSKE STANICE

U napojnoj transformatorskoj stanici (TS) 35/10 kV sa strane 35 kV dolazni vod je kablovski. Na strani 10 kV postoje dva nadzemna voda koja se preko relativno dugačkih kablovskih prilaza priključuju na sabirnice 10 kV, kao i veći broj čisto kablovskih vodova 10 kV koji su priključeni na iste sabirnice napojne TS, kao na slici 1.

Oznake na slici 1 imaju sledeće značenje:

1 i 2 nadzemni vodovi koji se nastavljaju na 10 kV kablove K4 i K5

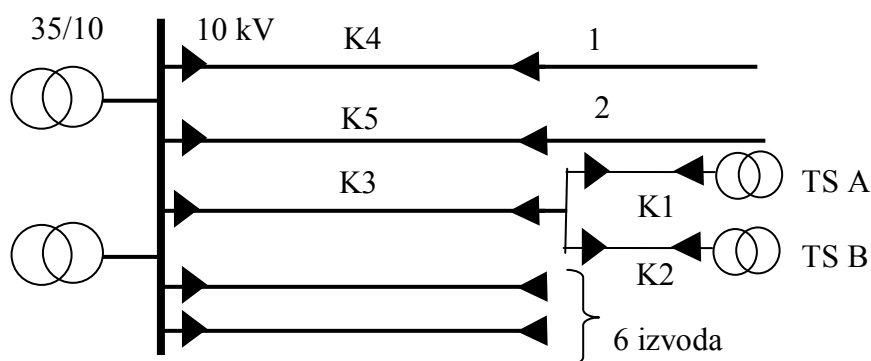
K1 kabl 10 kV dužine 80 m od sabirnica 10 kV postrojenja do TS 10/0.4 kV obeležene sa A unutar industrijskog objekta

K2 kabl 10 kV dužine 50 m od sabirnica 10 kV postrojenja do TS 10/0.4 kV obeležene sa B u kojoj su se događali kvarovi.

K3-kabl 10 kV dužine 200 m od napojne TS do sabirnica postrojenja unutar industrijskog objekta, TS A i TS B – transformatori 10/0.4 kV u analiziranom objektu.

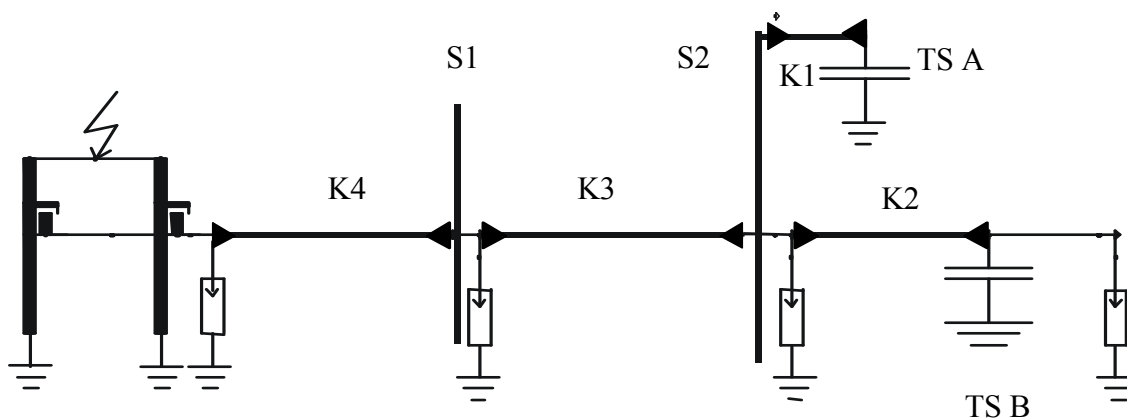
Kablovske glave su na svim izvodima zaštićene odvodnicima prenapona.

Ostali kablovi nisu od interesa za analizu, pa im nisu dati podaci.



Slika 1: Skica razvoda 10 kV iz napojne TS

Na osnovu slike 1 se može uočiti da je jedini izvor atmosferskih prenapona koji bi mogao da prouzrokuje prostiranje prenaponskih talasa do industrijskog objekta na nadzemnim vodovima 1 i 2, koji su na metalnim stubovima i koji mogu da prouzrokuju opasne prenapone, posebno na tlu velike specifične otpornosti. Međutim, ovi vodovi su priključeni preko relativno dugačkih kablova, sa sprovedenom prenaponskom zaštitom preko ZnO odvodnika prenapona kod kablovskih završnica, kao što se vidi na zamenskoj šemi na osnovu koje je vršen proračun, koja je data na slici 2.



Slika 2: Zamenska šema sistema u kome je izvršen proračun

Na slici 2 oznake koje nisu ranije navedene imaju sledeće značenje:

S1 – sabirnice napojnog postrojenja sa 10 kV strane

S2 – sabirnice analiziranog industrijskog objekta

Kabl K4 se štiti na prelazu sa vazdušnog na kablovski vod, a kabl K3 se takodje štiti na svom početku na izlazu iz napojnog postrojenja. Zbog čestih havarija u industrijskom objektu je postavljen odvodnik ispred kabla K2 koji napaja ugroženi transformator koji je više puta doživeo havarije. U TS A transformator se ne štiti odvodnikom prenapona. Suvi transformator se u TS B štiti klasičnim odvodnikom prenapona koji je postavljen vrlo blizu (na oko 1 m) od priključka suvog transformatora, ali mu je zemljovod napravljen od pocinkovane trake dugačak preko 8 m.

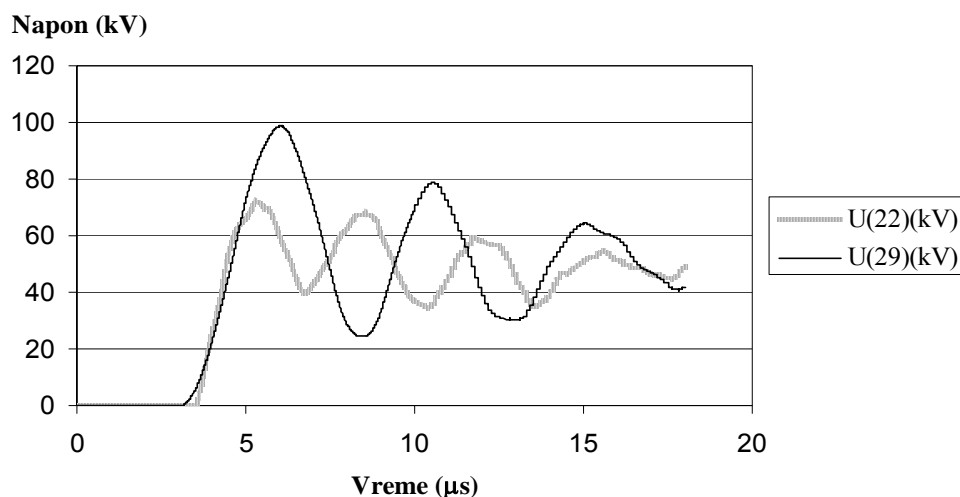
Atmosfersko pražnjenje je modelovano na sredini raspona nadzemnog voda 10 kV koji je snabdeven zaštitnim užetom ispred postrojenja, što je prikazano je na levoj strani slike, sa dva stuba čiji su otpori uzemljenja procenjeni na 50Ω , zbog kamenitog tla i nepoznavanja tačnih karakteristika vodova. Proračuni su urađeni sa visinama stubova do zaštitnog užeta od 17 m.

Proračun prenapona je izvršen specijalizovanim programom GROMK5 (1) klasičnom i statističkom metodom. Usvojeni su sledeći podaci o parametrima atmosferskog pražnjenja i parametrima sistema za proračun:

1. Struja atmosferskog pražnjenja 121 kA usvojena kao vrednost koja može biti premašena sa verovatnoćom od samo 2% prema (2)
2. Strmina struje atmosferskog pražnjenja 43 kA/ μ s usvojena kao vrednost koja može biti premašena sa verovatnoćom 2%,
3. Razmatran je samo udar u prvi raspon ispred kablovske glave
4. Na sabirnicama napojne TS 10 kV nije bio priključen nijedan drugi odvod sem onog za anlizirani industrijski objekat

Vremenska promena napona izračunata klasičnom metodom prikazana je na slici 3. Napon u TS A obeležen je kao U(29), a napon u TS B kao U(22).

Maksimalna izračunata vrednost napona u TS A iznosi $U(29)=118,9$ kV, a u TS B iznosi $U(29)=75,9$ kV.



Slika 3: Vremenska promena napona u TS B -Napon U(22) i u TS A Napon U(29)

Proračun je ponovljen statističkom metodom uvažavajući slučajno mesto udara duž prvog raspona i dobijeni su sledeći rezultati kada se usvoji da je keraunički nivo (godišnji broj grmljavinskih dana) $T_d=40$. Srednji broj godina bez kvara transformatora u TS A $T_A=20,5$, a u TS B $T_B=208,8$. Za manje transformatore se predlaže kriterijum 200 godina bez kvara, što pokazuje da je u našem slučaju transformator u TS B na granici ugroženosti. Ujedno se pokazuje da je transformator u TS A znatno ugroženiji od prenapona od transformatora u TS B, iako su se kvarovi uvek događali u TS B. Razlog je bolja zaštićenost transformatora u TS B je primena odvodnika prenapona uz transformator.

4. ATMOSFERSKI PRENAPONSKI TALASI NASTALI DIREKTNIM PRAŽNJENJEM U PRIHVATNI SISTEM INDUSTRIJSKOG OBJEKTA

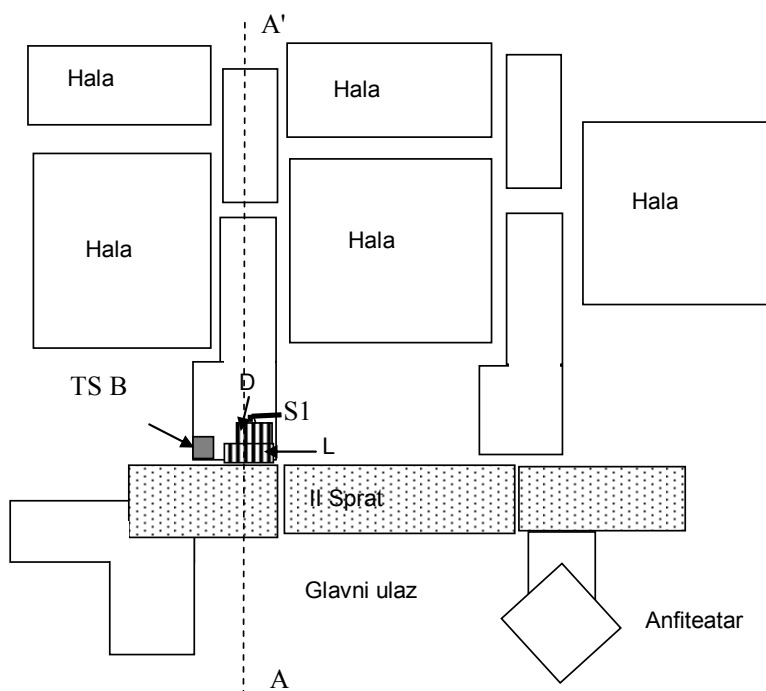
Drugi mogući uzrok kvarova transformatora predstavljaju direktna atmosferska pražnjenja u prihvatni sistem spoljašnje gromobranske instalacije industrijskog objekta. Na slici 4 prikazan je objekat iz ptičje perspektive. Oznake na slici 4 imaju sledeće značenje:

S1 – postojeći gromobranski spust koji se vezuje za prstenasti uzemljivač oko objekta

D – dimnjak koji je oko 2 m iznad nivoa ravne površine krova II sprata objekta

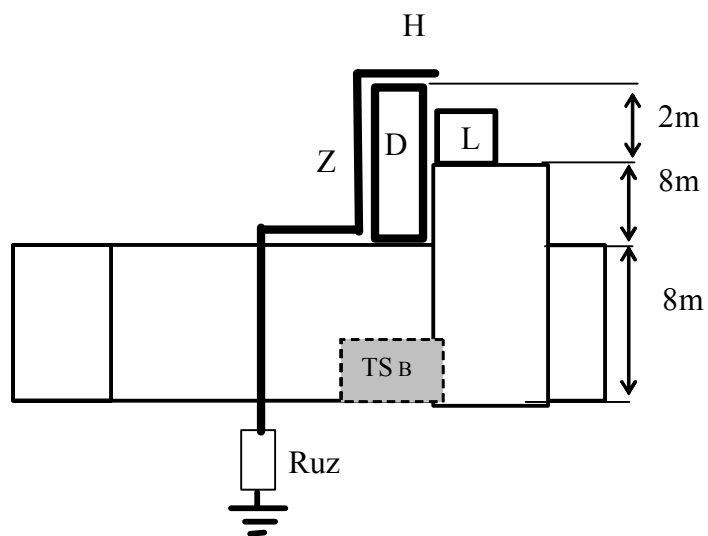
L – kućica za lift koja je oko 1,7 m iznad visine nivoa ravne površine krova II sprata objekta

TS B – transformatorska stanica B koja je više puta bila ugrožena od atmosferskih prenapona, koja se nalazi u suterenu objekta.



Slika 4: Pogled iz ptičje perspektive na zgradu industrijskog objekta

Na slici 5 prikazan bočni presek objekta po ravni A-A'.



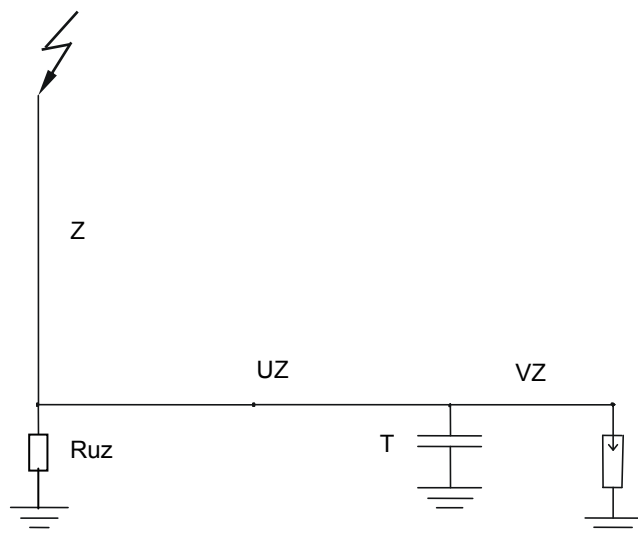
Slika 5: Bočni presek objekta

Oznake na slici 5 imaju sledeće značenje:

- TS B – prostorija transformatorske stanice TS B
- H – hvataljka u obliku pravougaonika od pocinkovane čelične trake na vrhu dimnjaka
- Z – zemljovod od hvataljke na vrhu dimnjaka do uzemljivača
- D – dimnjak
- L – kućica za lift

Samo jedan zemljovod ide od direktno od dimnjaka do uzemljivača čiji je otpor uzemljenja Ruz.

Na slici 6 prikazana je zamenska šema sistema za koji je izvršen proračun prenapona kada postoji samo jedan spust (postojeće stanje). Razmatrana je konfiguracija sa postojećim odvodnikom prenapona koji je priključen na suvi transformator tako da je zemljovod dužine oko 8 m.



Slika 6: Zamenska šema po kojoj je računata ugroženost transformatora u TS B

Oznake na slici 6 imaju sledeće značenje:

Z – zemljovodni spust od hvataljke do uzemljivača dužine 20 m

UZ-pocinkovana čelična traka za spoj metalnih masa postrojenja sa uzemljivačem dužine 10 m

VZ – veza izmedju odvodnika prenapona koji štiti transformator od mase transformatora. Ova dužina je procenjena na $d_1=8$ m u sadašnjem stanju.

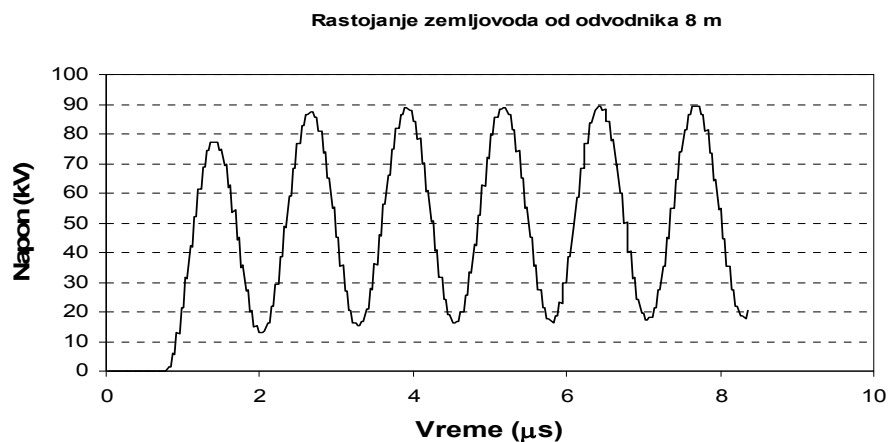
T – transformator koji se zamenjuje ulaznim kapacitetom do 3 nF.

Ruz-udarna impedansa uzemljenja koja je procenjena na 6Ω po svakom spustu.

Udarna impedansa uzemljenja određena je na sledeći način:

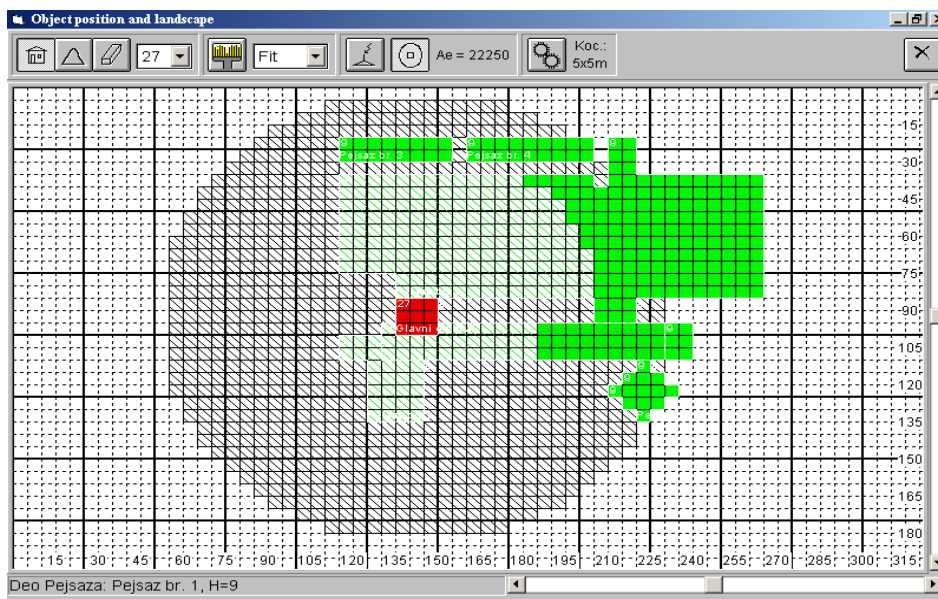
Ukupna otpornost rasprostiranja uzemljivačke petlje koja je procenjene dužine od oko $d_{uk}=400$ m iznosi $R_{ukup}=0.3 \Omega$. Otpornost rasprostiranja po 1m dužine uzemljivača je $R_1=R_{ukup}/d_{uk} = 120 \Omega$. Ako se računa da je aktivna dužina uzemljivača u udarnom periodu najviše do 10m, tada se za jedan spust sa obe strane može računati $d_{ak}=20$ m. Udarna impedansa preračunata na jedan spust bi u tom slučaju iznosila $R_{ud}=R_1/d_{ak} = 6 \Omega$.

Izvršena je simulacija prelaznog procesa usled atmosferskog pražnjenja prema šemi na slici 6. Na slici 7 prikazan je talasni oblik napona na transformatoru kada je dužina zemljovoda VZ za vezu odvodnika sa masom transformatora $d_z=8$ m (sadašnje stanje).



Slika 7: Napon na transformatoru kada je dužina veze SiC odvodnik-masa transformatora 8 m

Na slici 8 prikazana je atraktivna zona lift-kućice iznad TS B, dobijena programom za proračun ugroženosti od atmosferskih pražnjenja. Pod atraktivnom zonom se podrazumeva površina tla koja će na sebi privući atmosferska pražnjenja kada ne bi bilo objekta koji posmatramo. Kada posmatrani



Slika 8: Procenjena atraktivna zona lift kućice

objekat postoji, sva pražnjenja će umesto u atraktivnu površinu završiti na objektu.

Šrafirana zona predstavlja atraktivnu zonu lift kućice.

Procenjena atraktivna površina sa koje će kvadratna hvataljka da prikupi sva atmosferska pražnjenja je približno 25390 m². Ako se računa da je godišnja gustina pražnjenja 4,023 udara po km², tada je očekivani godišnji broj udara u objekat:

$$N = N_g \times A_B \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

gde je:

N_g – godišnja gustina pražnjenja po km². Za analizirano područje je $N_g=5,23$

A_B – atraktivna površina sa koje kvadratna hvataljka na vrhu kućice za lift iznad TS B prikuplja pražnjenja $A_B=25\,390\text{ m}^2$.

Na osnovu izraza (1) procenjen broj pražnjenja u kvadratnu omču od pocinkovane trake će iznositi:

$$N_B=0.13279 \quad (2)$$

Drugim rečima broj godina za koji se očekuje jedan udar u objekat – gromobrnsku zaštitu kućice za lift iznad TS B iznosi $T_B=1/N_B$, odnosno: $T_B=7.53$ god

Izvršena je procena broja udara koja može da se dogodi na delu objekta iznad TS A. Izračunata je atraktivna zona tog dela objekta, koji je na manjoj visini i ima veći broj paralelno vezanih spusnih vodova. Procenjena atraktivna površina tog dela objekta je $A_A=3770\text{ m}^2$. Procenjeni broj pražnjenja u taj deo objekta koji može da ugrozi TS A je $N_A=0.019$. Broj godina za koji se može očekivati jedno pražnjenje u objekat iznosi $T_A=52.6$ god. Može se uočiti da je očekivani broj godina za koje se može očekivati jedno pražnjenje u kućicu lifta neuporedivo kraći nego u deo krova iznad TS B.

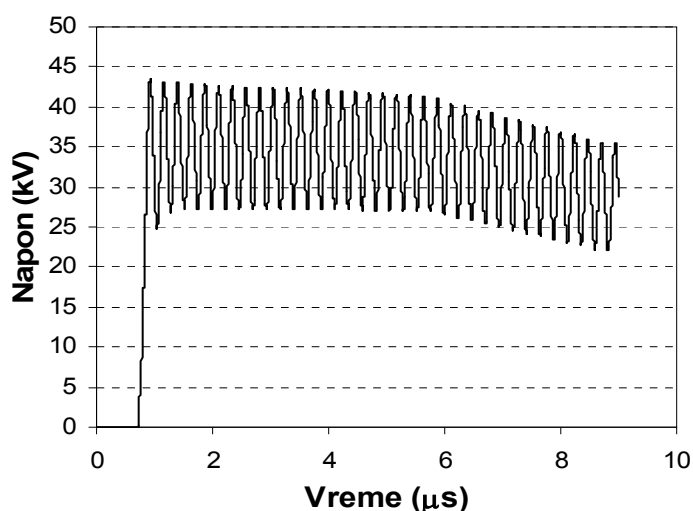
Proračun je ugroženosti transformatora u TS B je ponovljen kada primenjen novi tip odvodnika prenapona bez iskrišta koji je postavljen na sam transformator, tako da je dužina zemljovoda samo 0,4 m. U ovom slučaju napon na transformatoru pri svim ostalim identičnim uslovima ima oblik kao na slici 9. U ovom slučaju su dobijeni prenaponi koji su značajno manji od podnosivog udarnog napona izolacije transformatora. Rizik kvara transformatora usled atmosferskih prenapona u ovom slučaju je nula.

5. REŠENJE PROBLEMA PRENAPONSKE ZAŠTITE 10 KV STRANE TRANSFORMATORA

Postojeći suvi transformator prikazan je na slici 10. Na njemu se mogu uočiti potporni aralditni izolatori za 10 kV napon koji služe za učvršćivanje priključnih šina i nastavak izolovanih provodnika do samog namotaja transformatora. Umesto aralditnih potpornih izolatora posle rekonstrukcije postavljen je

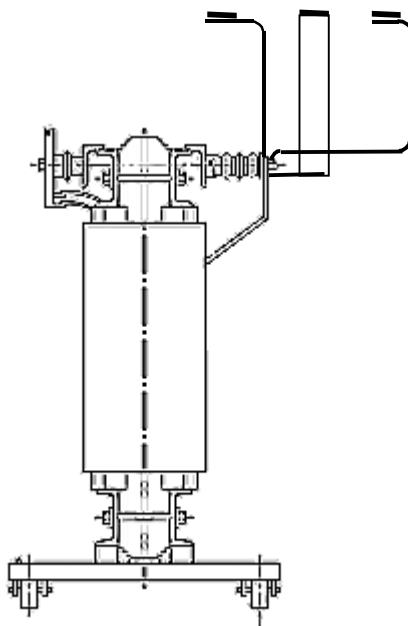
metal-oksadni odvodnik prenapona zaliven u silikonsko kućište koji služi kao prenaponska zaštita i

Rastojanje zemljovoda odvodnika 40 cm



Slika 9: Napon na transformatoru kada je dužina veze do odvodnik-masa transformatora 0.4 m

mehanička potpora. Ova konstrukcija odvodnika prenapona je imuna na eksplozije koje nastaju usled



Slika 10: Konstrukcija suvog transformatora sa aralditnim potpornim izolatorom za priključak

prodora vlage između porculanskog kućišta i aktivnog dela kod klasične konstrukcije odvodnika u porculanskom kućištu. Kod savremenih tipova odvodnika sa zalivenim aktivnim delom ova pojava nije moguća, jer ne postoji međuprostor ispunjen vazduhom između aktivnog dela i kućišta.

Na slici 11 prikazana je modifikovana konstrukcija suvog transformatora sa primenjenim metal-oksidnim odvodnicima prenapona umesto potpornih izolatora. Ova konstrukcija potpuno ispunjava sve zahtevane mehaničke i konstruktivne uslove kao i konstrukcija sa potpornim izolatorima, a vrši

potpuno sigurnu prenaponsku zaštitu. Pri tome ne postoji opasnost od oštećenja transformatora usled eksplozije odvodnika zbog prodora vlage.



Slika 11: Rekonstruisan suvi transformator sa odvodnicima prenapona umesto potpornih izolatora

6. ZAKLJUČAK

U radu je na osnovu analize ustanovljeno da prenaponska zaštita u TS B nije adekvatna, pa je izvršena rekonstrukcija suvog transformatora tako da su umesto potpornih izolatora postavljeni odvodnici prenapona. Da bi se generalno povećala pouzdanost prenaponske zaštite, isto rešenje sa primenjenim odvodnicima prenapona umesto potpornih izolatora primenjeno je i u TS A. Od rekonstrukcije transformatora je prošlo 3 godine, a da nije bilo ni jednog kvara transformatora usled atmosferskih prenapona.

7. LITERATURA

1. M. Savić: Programski paket za procenu atmosferskih prenapona u elektroenergetskim mrežama. Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 1996-2007 god.
2. M. Savić, Z. Stojković; Tehnika visokog napon-a-atmosferski prenaponi. Drugo izdanje, Elektrotehnički fakultet u Beogradu i Akademska Misao, Beograd 2002.

Ključne reči: Atmosferski prenaponi, gromobranska zaštita, odvodnici prenapona