

POUZDANOST RADA TRANSFORMATORA 110kV/6,3kV U TS "HIP" PRI DEJSTVU PRENAPONA

Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Goran Drobnjak
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: U radu su razmatrani uticajni prenaponi koji mogu da se pojave na izolacijama tri transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" kada su njihova zvezdišta direktno uzemljena i izolovana. To su skupovi prenapona atmosferskog porekla i skupovi prenapona usled sklopnih operacija, kao i privremeni prenaponi pri pojavi zemljospoja na nadzemnim vodovima 110 kV. Na osnovu utvrđenih prenapona izračunati su parametri pouzdanosti rada transformatora 110kV/6,3kV sa izolovanim i direktno uzemljenim zvezdištem.

Ključne reči: prenapon/transformator/izolacija/zemljospoj

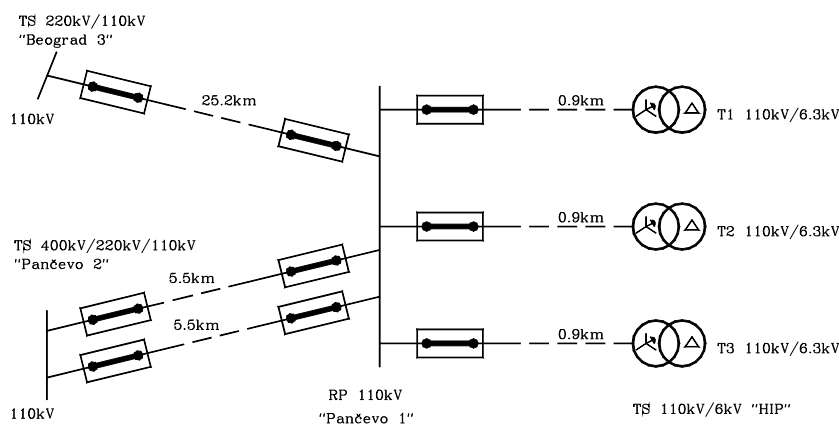
1 UVOD

Povod za razmatranje pouzdanosti rada tri transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" je pojava njihovih povremenih ispada iz pogona pri pojavi zemljospoja na nadzemnim vodovima 110 kV koji se susište na istim sabirnicama 110 kV u RP "Pančevo 1" kao i nadzemni vodovi 110 kV iz TS 110kV/6kV "HIP". To su dva nadzemna voda 110 kV "Pančevo 2 - Pančevo 1" i vod "Beograd 3 - Pančevo 1". Pojavom zemljospoja na njima dolazilo je u RP "Pančevo 1" do ispada prekidača 110 kV nadzemnih vodova 110 kV "Pančevo 1 - HIP" bez dejstva relejne zaštite. Pretpostavljalo se da do toga dolazi usled proticanja struja zemljospoja kroz uzemljivački sistem RP "Pančevo 1" i TS "HIP" i pojave prenapona u komandnim kolima prekidača 110 kV vodova "Pančevo 1 - HIP". Jedna od mera za smanjenje struja zemljospoja je odzemljavanje zvezdišta transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP". Potrebno je bilo sagledati kako ova mera utiče na pouzdanost rada transformatora 110kV/6,3kV. Zato su izvršena istraživanja pouzdanosti rada ovih transformatora pri dejstvu prenapona kada su njihova zvezdišta direktno uzemljena i izolovana [1].

2 ISTRAŽIVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

2.1. Modelovanje elemenata za proračun prenapona

Istraživanja prenapona na izolaciji namotaja transformatora 110kV/6,3kV su izvršena pri atmosferskom pražnjenju, sklopnim operacijama prekidača 110 kV vodova "Pančevo 1 - HIP" i pojavi zemljospoja na vodovima 110 kV koji se susište na sabirnicama 110 kV u RP "Pančevo 1". Jednopolna šema napajanja TS 110kV/6kV "HIP" je data na sl.1. Vodovi "Pančevo 1 - HIP" su dužine oko 0,9 km.



Sl. 1. Jednopolna šema napajanja TS 110 kV/6 kV "HIP".

Modeli za proračun atmosferskih prenapona zasnivaju se na sledećem:

- Stubovi nadzemnih vodova 110 kV "Pančevo 1 - HIP", gromobrnska užad i fazni provodnici predstavljeni su kao vodovi sa raspoređenim parametrima, odnosno odgovarajućim talasnim impedansama i dužinama.
- Energetski transformatori 110kV/6,3kV su predstavljeni matricom impedansi dobijenom na osnovu podataka o transformatoru (snaga, odnos transformacije, struja praznog hoda, napon kratkog spoja, karakteristika magnećenja) i kapacitivnostima namotaja međusobno i prema masi.
- Uzemljenja stubova su predstavljena koncentrisanom otpornošću (vrednost otpornosti stubova je od 1,1 Ω do 5,4 Ω).
- Sopstvene i međusobne impedanse provodnika u vazduhu kao i impedanse stubova računane su kao u [2].
- Grom je predstavljen strujnim generatorom čije su karakteristike korespondentne slučajno izabranoj struji groma. Metodom slučajnih brojeva birani su generatori groma iz Bergerovih krivih verovatnoća pojave amplituda i strmina struja groma [2,3]; za amplitude su uzete amplitude prvih komponenti, a za strmine, strmine svih komponenti jednog istog udara groma.
- Talasna impedansa kanala groma utvrđena je u zavisnosti od amplitude struje groma [2].
- Talas struje groma je predstavljen trougaonim oblikom.
- Odvodnici prenapona su predstavljeni U-I karakteristikom i naponom reagovanja na čelu talasa. Za postojeće odvodnike prenapona sa iskrištem nema podataka. Umesto njih su uzeti podaci za odvodnike prenapona domaće proizvodnje i to za odvodnike prenapona na 110 kV priključcima transformatora uzeti su odvodnici naznačenog napona 108 kV sa naponom reagovanja na čelu talasa $U_r=292$ kV, a za odvodnike u zvezdištu odvodnici naznačenog napona 55 kV sa naponom reagovanja na čelu talasa $U_r=185$ kV. Njihove U-I karakteristike su date u tabeli 1.

Tabela 1. U-I karakteristike odvodnika prenapona

| | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Odvodnik naznačenog napona 108 kV | U (kV) | 206 | 227 | 248 | 281 |
| | I (kA) | 0 | 5 | 10 | 20 |
| Odvodnik naznačenog napona 55 kV | U (kV) | 99 | 107 | 115 | 124 |
| | I (kA) | 0 | 5 | 10 | 20 |

Modeli za proračun sklopnih prenapona i prenapona pri pojavi zemljospoja zasnivaju se na sledećem:

- Vodovi 110 kV “Pančevo 1 -HIP” su predstavljeni sa raspodeljenim frekventno zavisnim parametrima preko talasnih impedansi i brzina prostiranja za direktni i nulti redosled.
- Mreža u TS “Pančevo 2” i TS “Beograd 3” je ekvivalentirana Tevenenovim generatorima naizmjeničnog napona i odgovarajućim impedansama. Oni su određeni iz parametara mreže kada su isključeni vodovi 110 kV “Pančevo 2 - Pančevo 1” i “Beograd 3 - Pančevo 1”.
- Pretpostavljena je normalna raspodela vremena uključenja za polove prekidača 110kV u RP “Pančevo 1”. Srednje vreme uključenja je bio trenutak maksimuma jednog od faznih napona. Kao standardno odstupanje vremena uključenja polova prekidača usvojeno je $\sigma=1.8$ ms.
- Energetski transformatori 110kV/6,3kV su predstavljeni matricom impedansi kao i u modelu za proračun atmosferskih prenapona.
- Za odvodnike prenapona naznačenih napona 108 kV i 55 kV u nedostatku potrebnih podataka usvojene su iste U-I karakteristike kao u modelu za proračun atmosferskih prenapona (U-I karakteristike odvodnika prenapona za sklopne prenapone su nešto niže od istih za atmosferske prenapone) sa naponima reagovanja za sklopne talase $U_r=259$ kV i $U_r=160$ kV respektivno.

Proračuni prenapona su izvršeni koristeći programski paket EMTP-ATP za proračun elektromagnetnih prelaznih procesa.

2.2. Proračun parametara pouzdanosti transformatora 110kV/6,3kV pri dejstvu atmosferskih prenapona

Istraživanja atmosferskih prenapona na izolaciji namotaja transformatora T1, T2 i T3 110kV/6,3kV u TS “HIP Pančevo” izvršena su pri udaru groma u vodove 110kV “Pančevo 1 HIP” i u portale iznad transformatora 110kV/6,3kV.

Metodom slučajnih brojeva izabrano je 1000 struja groma iz Bergerovih raspodela [2, 3]. Njihovom primenom direktno u portale, stubove i ravnomerno duž gromobranskog užeta, vodeći računa i o onim udarima groma koji prodiru kroz gromobransku zaštitu i pogađaju fazne provodnike, utvrđeni su naponi na izolaciji, a na osnovu njih rizici proboja izolacije namotaja transformatora iz sledećeg izraza:

$$R_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^N \left[\frac{(1 - P_{0,k,i})(1 - P_{4,k,i})(1 - P_{8,k,i})(1 - P_{0-4,k,i})(1 - P_{0-8,k,i})(1 - P_{4-8,k,i})}{(1 - P_{a,k,i})(1 - P_{b,k,i})(1 - P_{c,k,i})(1 - P_{a-b,k,i})(1 - P_{a-c,k,i})(1 - P_{b-c,k,i})} \right] \quad (1)$$

Ovde su:

R_k - rizik proboja izolacije namotaja transformatora pri delovanju atmosferskih prenapona iz k-tog skupa,

$P_{0,k,i}, P_{4,k,i}, P_{8,k,i}$ - verovatnoće proboja izolacije faza 0, 4 i 8 visokonaponskog namotaja transformatora prema masi pri i-tom udaru groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa,

$P_{0-4,k,i}, P_{0-8,k,i}, P_{4-8,k,i}$ - verovatnoće proboja izolacije između faza 0-4, 0-8 i 4-8 visokonaponskog namotaja transformatora pri i-tom udaru groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa,

$P_{a,k,i}, P_{b,k,i}, P_{c,k,i}$ - verovatnoće proboja izolacije faza a,b i c niženaponskog namotaja transformatora prema masi pri i-tom udaru groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa,

$P_{a-b,k,i}, P_{a-c,k,i}, P_{b-c,k,i}$ - verovatnoće proboja izolacije između faza a-b, a-c i b-c niženaponskog namotaja transformatora pri i-tom udaru groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa,

N_k - broj udara groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa.

Verovatnoće proboja izolacije pri i-tom udaru groma koji dovodi do pojave prenapona iz k-tog skupa su utvrđene iz izraza:

$$P_{k,j} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{U_{k,j}} e^{-\frac{(U-U_{50})^2}{2\sigma^2}} dU \quad (2)$$

Ovde su:

U_{50} - 50% probojni napon fazne, odnosno međufazne izolacije namotaja transformatora,

σ - standardno odstupanje; za atmosferske prenapone $\sigma=0.05 U_{50}$,

$U_{k,j}$ - maksimalna vrednost prenapona na posmatranoj faznoj, odnosno međufaznoj izolaciji pri i-tom udaru groma iz k-tog skupa.

Vrednosti U_{50} su utvrđene iz sledećeg izraza:

$$U_{50} = \frac{U_p}{1 - 1.282\sigma'} \quad (3)$$

U_p - podnosivi udarni napon izolacije i $\sigma'=0,05$.

Usvojene su sledeće vrednosti podnosivih atmosferskih udarnih faznih i međufaznih napona izolacije namotaja transformatora 110kV/6,3kV:

- podnosivi atmosferski udarni napon fazne ($U_{p,f}$) i međufazne ($U_{p,mf}$) izolacije namotaja 110 kV:

$$U_{p,f} = U_{p,mf} = 0,8 \cdot 550 \text{ kV};$$

- podnosivi atmosferski udarni napon fazne ($U_{p,f}$) i međufazne ($U_{p,mf}$) izolacije namotaja 6,3 kV:

$$U_{p,f} = U_{p,mf} = 0,8 \cdot 60 \text{ kV}.$$

Podnosivi naponi izolacije namotaja transformatora su umanjeni za 20% zbog starenja izolacije. (Starenje unutrašnje izolacije nije dovoljno istraženo. IEC 71-2/1996 tretira starenje unutrašnje izolacije sniženjem podnosivih napona za 15%).

Takođe je usvojeno da preskočni atmosferski udarni fazni naponi izolatorskih lanaca portala iznad transformatora 110kV/6,3kV i stubova vodova 110 kV "Pančevo 1 - HIP" iznose:

$$U_{pr,l} = 0,95 \cdot 550 \text{ kV}.$$

Rizici proboja za sve skupove prenapona su utvrđeni u slučajevima kada su zvezdišta transformatora 110kV/6,3kV direktno uzemljena i kada su izolovana u prisustvu i bez prisustva mreže 6,3 kV. Na osnovu njih i ekvivalentnih prihvatnih površina portala, stubova, faznih provodnika i gromobranskih užadi utvrđeni su prosečni intervali vremena ($T_{p,a}$) između dva uzastopna proboja izolacije namotaja tri transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" iz sledećeg izraza [1]:

$$T_{p,a} = \frac{1}{N_g \sum_k S_k R_k}$$

Ovde su:

N_g - broj udara groma po km² godišnje (usvojeno $N_g=4$),

S_k - ekvivalentna prihvatna površina objekta (portala, stuba, gromobranskog užeta, faznog provodnika),

R_k - rizik proboja izolacije namotaja transformatora 110kV/6,3kV pri delovanju k-tog skupa prenapona nastalog pri udarima groma na objekat ekvivalentne površine S_k .

Konstatovano je da u prisustvu mreže 6,3 kV intervali vremena između dva uzastopna proboja izolacije namotaja transformatora sa direktno uzemljenim zvezdištem iznose:

-za transformatore T1 i T2

$$T_{p,a} = 120 \text{ godina},$$

-za transformator T3

$$T_{p,a} = 35 \text{ godina},$$

a kada je zvezdište izolovano iznose:

-za transformatore T1 i T2 $T_{p,a} = 80$ godina,
 -za transformator T3 $T_{p,a} = 28$ godina.

Bez prisustva mreže 6,3 kV vremenski intervali između dva uzastopna proboja izolacije namotaja se smanjuju i kada je zvezdište transformatora direktno uzemljeno iznose:

-za transformatore T1 i T2 $T_{p,a} = 20$ godina,
 -za transformator T3 $T_{p,a} = 15$ godina,

a kada je zvezdište izolovano iznose:

-za transformatore T1 i T2 $T_{p,a} = 12$ godina,
 -za transformator T3 $T_{p,a} = 7,5$ godina.

Ugroženost izolacije 110kV namotaja transformatora T1, T2 i T3 je značajna. Razlog za to je velika udaljenost odvodnika prenapona po faznom provodniku od 110kV priključaka transformatora (preko 30m).

Bez prisustva mreže 6,3 kV ugroženost izolacije namotaja 6,3 kV se značajno povećava zbog visokih prenetih napona kroz transformatore 110kV/6,3kV, a time se povećava ugroženost celokupne izolacije transformatora.

2.3. Proračun parametara pouzdanosti transformatora 110kV/6,3kV pri delovanju sklopnih prenapona

U okviru istraživanja sklopnih prenapona na izolaciji namotaja transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" razmatrani su samo skupovi prenapona koji nastaju pri njihovom uključenju u neopterećenom stanju prekidačima 110 kV u RP 110 kV "Pančevo 1". Ostali sklopni prenaponi, koji se mogu očekivati na izolaciji namotaja transformatora, su sa manjom čestinom pojavljivanja i manje uticajni. Pretpostavljeno je da prenaponi pri isključenju transformatora nisu uticajni, odnosno da prekidači isključuju pri prolasku struje kroz prirodnu nulu i da ne dolazi do ponovnih paljenja luka u prekidaču.

Primenom po 200 operacija uključenja prekidača 110 kV vodova "Pančevo 1-HIP" u RP 110 kV "Pančevo 1" utvrđeni su prenaponi na izolaciji namotaja transformatora T1, T2 i T3 u TS "HIP" kada su njihova zvezdišta direktno uzemljena i izolovana. Nije bilo bitne razlike u visini prenapona kada su transformatori sa direktno uzemljenim zvezdištem i kada su sa izolovanim zvezdištem. Najviši izmereni prenaponi na namotajima 110 kV su: $U_{110,f} = 1,77 p.u.$ i $U_{110,mf} = 1,63 p.u.$, a na namotajima 6,3 kV: $U_{6,f} = 1,86 p.u.$ i $U_{6,m} = 1,77 p.u.$

Usvojene su sledeće vrednosti 50% probojnih sklopnih udarnih faznih i međufaznih napona izolacije namotaja transformatora 110kV/6,3kV:

- 50% probojni sklopni udarni napon fazne ($U_{50,p,f}$) i međufazne ($U_{50,p,mf}$) izolacije namotaja 110 kV:

$$U_{50,p,f} = U_{50,p,mf} = 0.8 \times 0.9 \times U_{p,n} \sqrt{2}(1 + 3\sigma')$$

Ovde su:

$U_{p.n.} = 230$ kV - naznačeni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije namotaja 110 kV;

$\sigma' = 0.08$ - standardno odstupanje svedeno na odgovarajući $U_{p.n.}$;

- 50% probojni sklopni udarni napon fazne ($U_{50,p,f}$) i međufazne ($U_{50,p,mf}$) izolacije namotaja 6.3 kV:

$$U_{50,p,f} = U_{50,p,mf} = 0.8 \times 0.9 \times U_{p.n.} \sqrt{2(1 + 3\sigma')}$$

Ovde su:

$U_{p.n.} = 20$ kV - naznačeni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije namotaja 6.3 kV;

$\sigma' = 0.08$ standardno odstupanje svedeno na odgovarajući $U_{p.n.}$.

Podnosivi sklopni udarni naponi, koje propisi za koordinaciju izolacije opreme za mreže do 245 kV ne definišu, su utvrđeni iz nazivnih kratkotrajnih podnosivih napona industrijske frekvencije uzimajući njihovu temenu vrednost umanjenu za 10% kao podnosivi napon sa verovatnoćom proboja 0,00135. To je napon niži od 50% probojnog napona za trostruko standardno odstupanje. Kao i atmosferski podnosivi udarni naponi, podnosivi sklopni udarni naponi su umanjeni za 20% uvažavajući starenje izolacije.

Na osnovu utvrđenih prenapona izračunati su rizici proboja izolacije namotaja transformatora iz izraza (1); nisu prelazili vrednost 10^{-5} . Pod pretpostavkom da je broj uključenja transformatora godišnje $N=10$ prosečni intervali vremena između dva uzastopna proboja izolacije namotaja transformatora pri delovanju sklopnih prenapona su veći od 10.000 godina ($T_{p,s} > 10.000$).

2.4. Proračun prenapona na izolaciji namotaja transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" pri pojavi zemljospoja

Istraživanja prenapona u zvezdištu i na priključcima transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" izvršena su pri pojavi zemljospoja na vodovima 110 kV "Pančevo 2 - Pančevo 1", "Beograd 3 - Pančevo 1" i vodovima "Pančevo 1 - HIP", kada su zvezdišta transformatora izolovana.

Maksimalni naponi u zvezdištima i na priključcima transformatora 110kV/6,3kV se javljaju pri pojavi zemljospoja na vodovima "Pančevo 1 - HIP"; na priključcima 110 kV dostižu do $1.15 U_f$ (U_f -fazni napon mreže pre nastanka zemljospoja), a u zvezdištu ne prelaze $0.45 U_f$. Udaljenjem mesta zemljospoja od TS 110kV/6kV "HIP" duž vodova 110 kV "Pančevo 2 - Pančevo 1" i voda "Beograd 3-Pančevo 1" naponi se snižavaju. Pri pojavi zemljospoja na početku vodova "Pančevo 1 - Pančevo 2" neposredno uz TS "Pančevo 2" naponi u zvezdištu transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" ne prelaze $0,2 U_f$, a pri pojavi zemljospoja na početku voda "Beograd 3 - Pančevo 1" neposredno uz TS "Beograd 3" ne prelaze $0.1 U_f$. Pri uspostavljanju zemljospoja pre prelaska u stacionarni režim javljaju se prenaponi, ali u zvezdištu ne prelaze dvostruku temenu vrednost napona u stacionarnom režimu zemljospoja.

Ustanovljeni prenaponi ne predstavljaju opasnost po izolaciju zvezdišta transformatora.

3 POUZDANOST RADA TRANSFORMATORA 110KV/6,3KV U TS "HIP" PRI DEJSTVU PRENAPONA

Prosečni intervali vremena između dva uzastopna proboja izolacije namotaja transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" pri dejstvu atmosferskih i sklopnih prenapona se izračunavaju iz sledećeg izraza:

$$T_p = \frac{1}{\frac{1}{T_{p,a}} + \frac{1}{T_{p,s}}}$$

Pošto su prosečni intervali vremena između dva uzastopna proboja izolacije namotaja transformatora pri dejstvu sklopnih prenapona ($T_{p,s}$) znatno veći od istih intervala vremena pri dejstvu atmosferskih prenapona ($T_{p,a}$) onda je:

$$T_p \approx T_{p,a}$$

Kao zadovoljavajuća pouzdanost rada transformatora visokih napona, izražena preko pokazatelja pouzdanosti - prosečnog intervala vremena između dva uzastopna proboja izolacija, smatra se da je 600 godina [4]. To znači da se sa sigurnošću od 95% može tvrditi da u životnom veku transformatora neće doći do proboja njegove izolacije.

Analiza rezultata istraživanja ukazuje na nedovoljnu pouzdanost rada transformatora T1, T2 i T3 sa direktno uzemljenim zvezdištem u postojećoj šemi TS 110kV/6kV "HIP" sa aspekta atmosferskih prenapona. Odzemljavanjem zvezdišta transformatora njihova pouzdanost se još više smanjuje.

Povećanje pouzdanosti rada transformatora može se postići odgovarajućom rekonstrukcijom TS 110kV/6kV "HIP". Odvodnici prenapona moraju biti što bliže transformatoru, odnosno provodne veze odvodnici - namotaji transformatora i uzemljeni delovi transformatora - odvodnici treba da su što kraće. Postojeća udaljenost odvodnika prenapona po faznom provodniku je suviše velika. Iznosi oko 32 m. Sa ovolikim rastojanjem efikasnost zaštite transformatora je bitno smanjena. Najbolje rešenje bi bilo, ako je izvodljivo, da se odvodnici prenapona priključe na fazne provodnike koji se od izolatorskih lanaca portala iznad transformatora spuštaju ka 110 kV priključcima transformatora.

Izolacija regulacionog dela namotaja transformatora može da bude značajno napregnuta pri pojavi strmih prenapona na 110 kV priključcima transformatora. Pretpostavlja se da se odzemljavanjem zvezdišta transformatora mogu povećati ta napreznja. Zato je potrebno konsultovati proizvođača transformatora i zatražiti njegovo mišljenje o potrebi zaštite od prenapona na regulacionom delu namotaja transformatora.

4 ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata istraživanja pouzdanosti rada transformatora 110kV/6,3kV u TS "HIP" pri dejstvu prenapona može se zaključiti sledeće:

- Transformatori T1, T2 i T3 sa direktno uzemljenim zvezdištem i postojećom gromobranskom i prenaponskom zaštitom nemaju zadovoljavajuću pouzdanost rada sa

- Postojeća zaštita transformatora T1, T2 i T3 odvodnicima prenapona nije adekvatno rešena. Udaljenost odvodnika prenapona po faznom provodniku od priključka 110 kV transformatora je velika, a time je efikasnost zaštite znatno umanjena. Odvodnici moraju biti što bliže transformatoru, odnosno provodne veze odvodnici - namotaji transformatora i uzemljeni delovi transformatora - odvodnici treba da su što kraće. Odzemljavanjem zvezdišta transformatora osetno se smanjuje pouzdanost njihovog rada sa aspekta atmosferskih prenapona.
- Privremeni prenaponi pri pojavi zemljospoja na vodovima 110 kV "Pančevo 2 - Pančevo 1" i "Pančevo 1 - HIP", kao i na vodu "Beograd 3 - Pančevo 1" ne ugođavaju izolaciju transformatora T1, T2 i T3 kada su zvezdišta transformatora odzemljena.
- S obzirom na malu pouzdanost rada transformatora T1, T2 i T3 sa direktno uzemljenim zvezdištem u postojećoj šemi (sa postojećom lokacijom odvodnika prenapona i postojećim provodnim vezama odvodnici prenapona - namotaji transformatora) i njenim osetnim smanjenjem u slučaju odzemljavanja zvezdišta, ne preporučuje se odzemljavanje zvezdišta transformatora.
- Potrebno je izvršiti rekonstrukciju TS 110kV/6kV "HIP" poboljšanjem efikasnosti prenaponske zaštite (zameniti postojeće odvodnicima prenapona sa ili bez iskrišta sa boljim zaštitnim karakteristikama, izabrati povoljnija mesta postavljanja i priključenja odvodnika prenapona i sl.). Ako se po završetku rekonstrukcije analizom konstatuje da su prosečni intervali vremena između dva uzastopna proboja izolacije namotaja transformatora T1, T2 i T3 sa izolovanim zvezdištem, pri delovanju atmosferskih prenapona, veći od 600 godina, može se prihvatiti odzemljavanje zvezdišta transformatora.

LITERATURA

- [1] P. Vukelja, J. Mrvić i dr. "Istraživanja prenapona na transformatorima 110kV/6kV u TS "HIP Pančevo"", *Izveštaj br. 319707, Institut "N.Tesla", 1997.*
- [2] Z. Zdravković, P. Vukelja, M. Savić i dr. "Tehnički i ekonomski aspekti izgradnje i eksploatacije dalekovoda sa redukovanom gromobranskom zaštitom", *Studija br. 328801, Institut "Nikola Tesla", Beograd 1988.*
- [3] K. Berger "Actual knowledge on lightning research and lightning protection", *15th European Conference on Lightning Protection, Uppsala, June 23-29, 1979.*
- [4] Panek, P.F.Albrecht, H. Elahi "Design criteria for lightning protection of HV substations", *IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.7, No 2, April 1992, p.p. 489-498.*

Abstract: The paper considers overvoltages which may appear on the insulation of three 110/6.3 kV transformers located in TS "HIP", in the cases with their neutral point directly earthed and isolated. These are the sets of overvoltages of lightning origin and sets of overvoltages of switching origin, as well as temporary overvoltages due to earth faults on 110 kV overhead lines. On the basis of the determined overvoltages, calculated are the reliability parameters of 110/6.3 kV transformers performance with isolated and directly earthed neutral point.

**OVERVOLTAGES ON 110/6.3 kV TRANSFORMER INSULATION IN
TS "HIP"**

Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Goran Drobnjak

