

PREGLEDI, KONTROLE I MERENJA NA SISTEMIMA UZEMLJENJA TRANSFORMATORSKIH STANICA "ELEKTROISTOKA"

Momčilo Petrović, Mladen Šupić, Aleksandar Pavlović, Branko Josifović
Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: U radu su dati rezultati pregleda, kontrola i merenja na sistemima uzemljenja transformatorskih stanica "Elektroistoka" koja je Institut "Nikola Tesla" sproveo u poslednjih pet godina.

Ključne reči: sistem uzemljenja, napon dodira, napon koraka, uzemljivač.

1 UVOD

Institut "Nikola Tesla" se više od četrdeset godina bavi pregledima, kontrolama i merenjima na sistemima uzemljenja transformatorskih stanica "Elektroistoka". Redovna, periodična merenja i kontrole se sprovode svake pete godine. U svakoj transformatorskoj stanici radi se sledeće:

- vizuelni pregled uzemljivača, zemljovoda i spojeva na uzemljenje,
- merenje impedanse sistema uzemljenja,
- kontrola međusobne galvanske povezanosti uzemljivača (zaštitnog, radnog, gromobranskog); kontrola povezanosti metalnih delova opreme, koji normalno nisu pod naponom ali mogu usled kvara doći pod napon, sa sistemom uzemljenja; kontrola izjednačavanja potencijala svih metalnih masa,
- merenje napona dodira i napona koraka na području sistema uzemljenja transformatorske stanice, na ogradi objekta, kao i na metalnim masama u neposrednoj blizini transformatorske stanice usled iznošenja potencijala.

U ovom radu su dati rezultati pregleda, kontrola i merenja na sistemima uzemljenja osam TS 400/X, petnaest TS 220/X i pedesetpet TS 110/X sprovedenih u poslednjih pet godina.

Kao osnova za tumačenje rezultata ispitivanja sistema uzemljenja korišćeni su propisi i preporuke date u [1], [2], [3], [4] i [5].

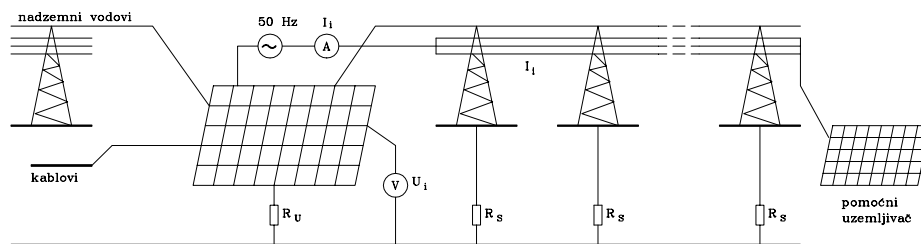
2 METODE MERENJA IMPEDANSE SISTEMA UZEMLJENJA, NAPONA DODIRA I KORAKA

Merenje impedanse sistema uzemljenja obavljeno je metodom merenja struje i napona ("U-I" metoda). Principijelna merna šema prikazana je na Slici 1. Priključenjem izvora naizmeničnog napona 50 Hz između ispitivanog sistema uzemljenja i pomoćnog uzemljivača uspostavlja se ispitna struja I_i . Napon na uzemljivaču po uspostavljanju ispitne struje određuje se merenjem raspodele potencijala po površini tla na pravcu koji se bira tako da se izbegne uticaj magnetskog polja od uspostavljenog strujnog kola. Impedansa sistema uzemljenja izračunava se iz:

$$Z_e = \frac{U_i}{r \cdot I_i} \quad (1)$$

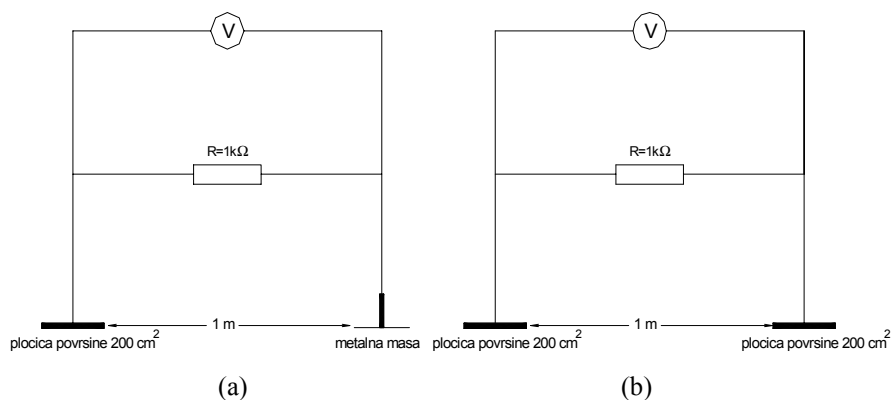
gde su:

U_i -izmereni napon uzemljivača,
 I_i -uspostavljena ispitna struja,
 r -redukциони faktor voda koji se koristi pri merenju.



Sl.1 - Šema za merenje impedanse uzemljenja, napona dodira i napona koraka

Za merenje napona dodira i napona koraka koristi se principijelna merna šema prikazana na Slici 1. Napon dodira U_{di} , pri ispitnoj struji I_i , meri se između uzemljenih metalnih masa i mogućih stajališta na tlu koja su na rastojanju 1 m od uzemljenih masa. Napon dodira meri se primenom odgovarajuće opreme koja uključuje otpornost čovekovog tela od 1000Ω i površinu kontakta stopala i tla od 200 cm^2 za svako stopalo (slika 2a). Napon koraka U_{ki} , pri ispitnoj struji I_i , meri se na površini tla između mogućih stajališta na tlu koja su na rastojanju 1 m. Napon koraka meri se primenom odgovarajuće opreme koja uključuje otpornost čovekovog tela od 1000Ω i površinu kontakta stopala i tla od 200 cm^2 za svako stopalo (slika 2b).



Sl. 2 - Šema za merenje napona dodira (a) i koraka(b)

Vrednosti napona dodira i napona koraka izračunavaju se za najnepovoljnije uslove zemljospoja iz:

$$U_{dk} = U_{dki} \cdot \frac{I_{zk}}{I_i}, \quad I_{zk} = \max \{I_{zm}, I_{zt}\} \quad (2)$$

$$I_z = I_{zm} + I_{zt} \quad (3)$$

gde su:

U_{dk} - vrednost napona dodira pri proticanju komponente struje zemljospoja merodavne za proračun;

U_{dki} - vrednost napona dodira pri proticanju ispitne struje;

I_{zk} - vrednost komponente struje zemljospoja u tranzijentnom periodu merodavne za proračun;

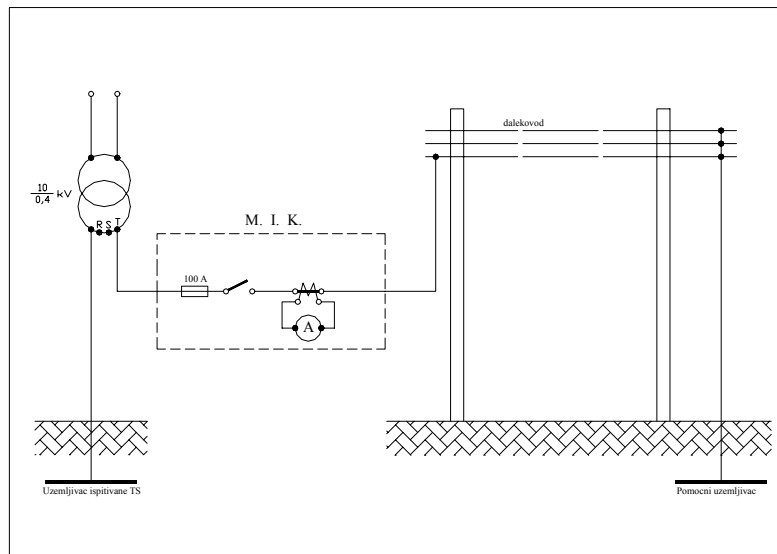
I_i - vrednost ispitne struje;

I_z - vrednost struje zemljospoja u tranzijentnom periodu;

I_{zm} - vrednost komponente struje zemljospoja koja se zatvara kroz uzemljena zvezdišta transformatora u mreži u tranzijentnom periodu;

I_{zt} - vrednost komponente struje zemljospoja koja se zatvara kroz uzemljena zvezdišta transformatora u postrojenju u tranzijentnom periodu.

Za izvor napajanja u šemi na slici 1 najčešće je korišćen transformator sopstvene potrošnje 10 kV/0,4 kV. Jedna od njegovih faza se priključuje preko ampermetra na nadzemni vod (slika 3). Ispitna struja se prilikom merenja kretala od 30 A do 100 A.



Sl. 3 - Ispitno kolo za merenje impedanse uzemljenja, napona dodira i napona koraka

Dozvoljene vrednosti napona dodira i napona koraka, u zavisnosti od vremena trajanja zemljospoja računaju se prema sledećim izrazima:

$$\begin{aligned}
 U_{dk}^{\max} &= 1000 \text{ V}, \quad t \leq 0.075 \text{ s} \\
 U_{dk}^{\max} &\leq \frac{75}{t} \text{ V}, \quad 0.075 \text{ s} \leq t \leq 1.153 \text{ s} \\
 U_{dk}^{\max} &= 65 \text{ V}, \quad t > 1.153 \text{ s}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

t -vreme trajanja zemljospoja.

Ove, najveće dozvoljene vrednosti napona dodira i napona koraka se odnose ne samo na područje unutar već i na područje izvan ograde transformatorske stanice.

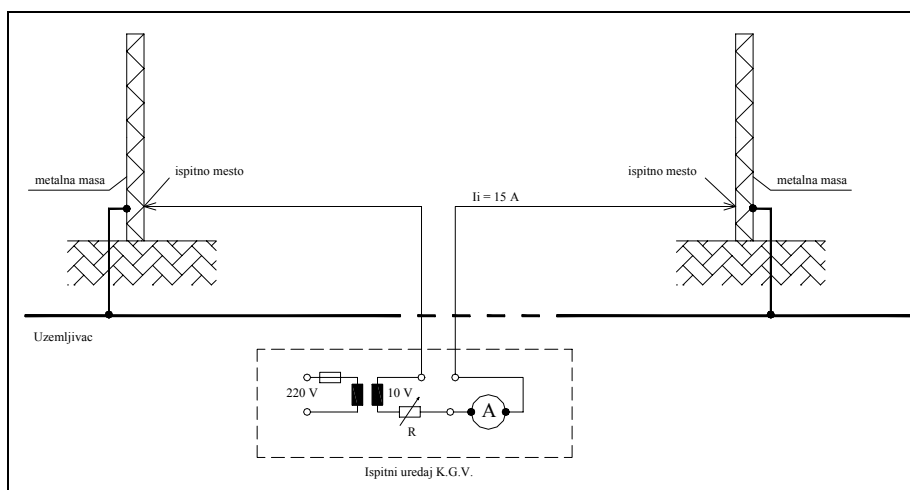
Tako, npr. za vrednost vremena trajanja zemljospoja od 0.5 s najveća dozvoljena vrednost napona dodira i napona koraka iznosi:

$$U_{dk}^{\max} \leq \frac{75}{0.5} = 150 \text{ V}$$

3 KONTROLA GALVANSKE POVEZANOSTI

Kontrola galvanske povezanosti delova opreme i metalnih masa postrojenja sa uzemljivačem i međusobno izvršena je propuštanjem ispitne struje jačine 15-20 A, bez odvajanja na ispitnim mestima.

Principijelna šema merenja prikazana je na Slici 4.



Sl. 4 - Šema za kontrolu galvanske povezanosti

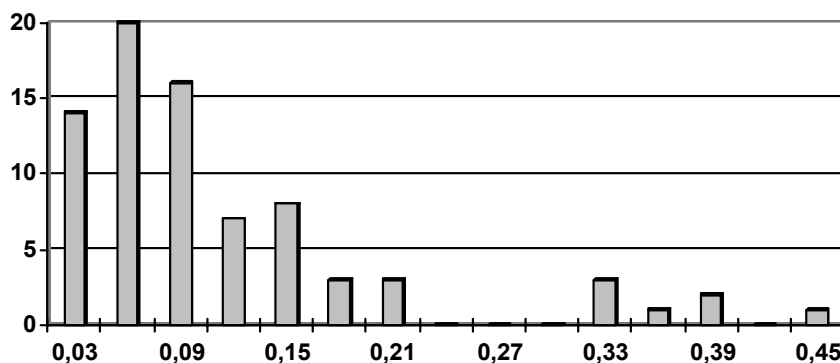
Sprovedena je kontrola galvanske povezanosti metalnih masa i nosećih čeličnih konstrukcija sa uzemljivačem, kao i međusobna galvanska povezanost pojedinih elemenata u sistemu uzemljenja radi utvrđivanja celovitosti provodnika za uzemljenje i uzemljičke mreže i spojeva u provodnicima za uzemljenje.

4 REZULTATI MERENJA IMPEDANSE SISTEMA UZEMLJENJA I NAPONA KORAKA I DODIRA

Merenje impedanse sistema uzemljenja sprovedeno je metodom merenja struje i napona (U-I metodom).

Na osnovu rezultata merenja izračunate su impedanse sistema uzemljenja u svim transformatorskim stanicama u sastavu "Elektroistoka". Vrednosti impedanse sistema uzemljenja se kreću od $0,03 \Omega$ do $0,45 \Omega$. Vrednosti su manje ukoliko je specifična otpornost tla manja i ukoliko je površina koju pokriva uzemljivački sistem veća.

Na slici 5 dat je histogram izmerenih vrednosti impedanse sistema uzemljenja transformatorskih stanica 400/X, 220/X i 110/X "Elektroistoka".



Sl. 5 - Histogram izmerenih vrednosti impedansi sistema uzemljenja transformatorskih stanica "Elektroistoka"

Sa slike 5 se vidi da se u najvećem broju transformatorskih stanica vrednosti impedansi sistema uzemljenja kreću između $0,03 \Omega$ i $0,15 \Omega$, što ukazuje da vrednosti ukupnog napona na sistemu uzemljenja za vreme trajanja zemljospoja ne mogu biti visoke, pa time i vrednosti napona koraka i dodira.

Na osnovu merenja napona koraka i dodira i podataka o strujama zemljospoja koje se mogu očekivati u ispitivanim transformatorskim stanicama izračunate su vrednosti napona koraka i dodira koje se mogu očekivati pri pojavi zemljospoja.

Proračuni su izvršeni za struje zemljospoja koje se mogu javiti u uslovima postojećeg stanja mreže kao i u uslovima stanja mreže koje se može očekivati u perspektivi (oko 2010. god.).

Utvrđene vrednosti napona dodira i koraka su poređene sa dozvoljenim vrednostima koje su dobijene iz izraza (4) na osnovu podataka o vremenu trajanja zemljospoja u transformatorskim stanicama.

Ukoliko su izmerene vrednosti napona dodira i koraka bile veće od dozvoljenih predložene su mere da se one smanje.

To je konstatovano kod tri transformatorske stanice. Kod dve transformatorske stanice, na njihovoj ogradi, pojavili su se naponi dodira veći od dozvoljenih. Kod prve je preporučeno pošljunčavanje pojasa oko transformatorske stanice, kod druge je preporučeno galvansko razdvajanje ograde od njegovog uzemljenja. U trećem slučaju naponi koraka i dodira su bili previsoki u celom postrojenju pa su preporučene mere sanacije obuhvatale proširenje uzemljivačke mreže povezivanjem postojećih zaštitnih užadi 35 kV vodova sa uzemljivačem transformatorske stanice, uz oblikovanje potencijala postavljanjem uzemljivačkog prstena oko kritičnih metalnih masa.

U principu mere za smanjenje napona koraka i dodira sastoje se u smanjenju ukupne impedanse uzemljenja postrojenja i u ravnomernijoj raspodeli potencijala.

Smanjenje ukupne impedanse uzemljenja postrojenja dovodi do smanjenja ukupnog napona na sistemu uzemljenja koji je u direktnoj srazmeri sa naponima dodira i koraka.

U postrojenjima 400 kV i 220 kV površina na kojoj se prostire uzemljivački sistem je veoma velika tako da su vrednosti impedanse uzemljenja veoma male (0,03 do 0,06) kao i vrednosti napona koraka i dodira. Više vrednosti napona koraka i dodira najčešće se javljaju u 110 kV postrojenjima čiji uzemljivački sistem pokriva znatno manju površinu, a i struje zemljospoja su, po pravilu, najveće u mreži 110 kV. Kako je u TS 110/35 kV obično iskorišćena sva raspoloživa površina za proširenje uzemljivača, smanjenje ukupne impedanse uzemljivača se može ostvariti uvođenjem i povezivanjem zaštitnih užadi 35 kV vodova, koja najčešće nisu uvedena u TS, sa uzemljivačem postrojenja.

Ravnomernija raspodela potencijala se postiže postavljanjem uzemljivačkog prstena sa spoljašnje strane ograde postrojenja, postavljanjem uzemljivačkog prstena oko metalnih masa na kojima se javljaju previsoki naponi koraka i dodira i korišćenjem izolacionih transformatora kada se vrši napajanje potrošača koji se nalaze izvan ograde postrojenja.

5 REZULTATI KONTROLA GALVANSKE POVEZANOSTI UZEMLJENJA

Kontrola galvanske povezanosti uzemljenja spada u obavezan deo periodičnog ispitivanja.

Nedostaci koji su se pojavili u toku kontrola u transformatorskim stanicama "Elektroistoka" u poslednjih pet godina mogu se okarakterisati kao sitniji ili krupniji zavisno od vrednosti opreme koja je ugrožena i stepena smanjenja bezbednosti radnika.

Kontrolom su u pojedinim transformatorskim stanicama ustanovljene sledeće nepravilnosti i nedostaci:

- Prekinuti zemljovodi na pojedinim ili čitavoj grupi aparata;
- Neodgovarajuće izvođenje zemljovoda na energetske transformatorima na kućištu i na kućišnoj zaštiti, ako je primenjena, zemljovodi su izvedeni jednostruko; hladnjaci sa ventilatorima koji su izolovani od kućišta energetskog transformatora nisu uopšte uzemljeni a mogu doći pod puni fazni napon ili hladnjaci sa ventilatorima su uzemljeni jedino preko zaštitnog provodnika niskonaponskog razvoda kojim se napajaju ventilatori;
- Neodgovarajući način spajanja zemljovoda na aparate primena papučica nedovoljnog preseka i neodgovarajućeg materijala, vrlo često baš na energetske transformatorima koji su praktično lošije uzemljeni od svetiljki u postrojenju a predstavljaju veliku metalnu masu i imaju veliku materijalnu vrednost-posledica je pojava smetnji na signalnim i komandnim kablovima što može dovesti do pogrešnog reagovanja zaštite i u slučaju kvara dovesti do prenošenja previsokog napona čak do zgrade komande i vrednijih elektronskih uređaja u njoj; korišćenje različitih materijala pri spajanju bez razdvajanja umecima od olova, spajanje preko navarenog vijka umesto preko čelične priključne pločice, nekorišćenje čeličnih priključnih pločica, korišćenje čeličnih priključnih pločica nedovoljnog preseka za date uslove kvara;

- Nepovezanost uzemljivača
nepovezanost zaštitnih kontakata niskonaponskih priključnica na zaštitni provodnik niskonaponskog razvoda u komandnopogonskoj zgradi,
nepovezanost metalnih kućišta električnih aparata i niskonaponskih priključnica na zaštitni provodnik niskonaponskog razvoda,
nepovezanost metalnih masa u zgradi komande: ramovi prozora, kablovski kanali, ograde stepeništa;

Takođe je konstatovana i pojava korozije, najčešće, na zavrtnjima koji drže spoj zemljovoda sa nosačima aparata.

Za postojeće i perspektivno stanje mreže u transformatorskim stanicama na kojima su sprovedena ispitivanja uzemljenja, na osnovu efektivne vrednosti struja zemljospoja u tranzijentnom periodu i vremena trajanja kvara, izračunati su najmanji dozvoljeni preseki bakarnih (Cu) i čeličnih (Fe) provodnika korišćenih za izvođenje uzemljivača i zemljovoda.

Najmanji dozvoljeni presek provodnika u sistemu uzemljenja (q_{\min}) pri kratkotrajnom zagrevanju određuje se pomoću izraza:

$$q_{\min} = k \cdot I \cdot \sqrt{t}$$

gde su:

q_{\min} -najmanji dozvoljeni presek provodnika u [mm²],

I -struja merodavna za toplotni proračun u [kA],

t -trajanje struje u [s],

k -sačinilac koji zavisi od vrste materijala (k=6.25 za bakar, k=15 za čelik).

Kontrolom je konstatovano da osnovni presek uzemljivača i zemljovoda u pregledanim transformatorskim stanicama zadovoljava zahteve propisa u pogledu termičkog naprezanja.

6 ZAKLJUČAK

Pregledima, kontrolama i merenjima konstatovano je da je stanje uzemljivačkih sistema transformatorskih stanica "Elektroistoka" na zadovoljavajućem nivou, kako sa aspekta ukupnog napona na sistemu uzemljenja tako i sa aspekta dozvoljenih napona koraka i dodira za vreme trajanja zemljospoja, osim u tri transformatorske stanice za koje su preporučene mere sanacije.

Kontrola galvanske povezanosti je pokazala da u pojedinim transformatorskim stanicama postoje određene nepravilnosti i nedostaci, i predložene su mere za njihovo otklanjanje.

Preseci provodnika u sistemima uzemljenja transformatorskih stanica zadovoljavaju zahteve propisa u pogledu termičkog naprezanja za struje kvara i vreme trajanja kvara.

LITERATURA

- [1] "Pravilnik o tehničkim normativima za uzemljenja elektroenergetskih postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V", Sl. list SRJ, br. 61/95;
- [2] "Pravilnik o izmenama i dopunama pravilnika o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica" Sl. list SRJ br. 37/95;

- [3] "Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica", Sl. list. SFRJ br. 13/78;
- [4] "Pravilnik o tehničkim normativima za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona iznad 1000 V", Sl. list SFRJ, br. 4/74;
- [5] "Projektovanje, izgradnja i održavanje uzemljenja elektroenergetskih postrojenja", Tehnička preporuka EPS, TP-23, 1982;
- [6] Enver Sarajlić, Milivoje Bujenović, Aleksandar Pavlović: "Pregledi, kontrole i merenja na sistemima uzemljenja elektroenergetskih objekata", Elektroprivreda, br. 3, Beograd 2000, str. 29-37;
- [7] "Izveštaji o ispitivanjima na sistemima uzemljenja elektroenergetskih objekata u sastavu Elektroistoka u periodu 1997-2003".

Abstract: The paper presents some measurement results on grounding systems in substations 110 kV, 220 kV and 400 kV in last five years, performed by The Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade.

Keywords: *grounding system, step voltage, touch voltage, earthing.*

INSPECTION AND MONITORING ON GROUNDING SYSTEMS OF ELEKTROISTOK'S POWER STATIONS

Momčilo Petrović, Mladen Šupić, Aleksandar Pavlović, Branko Josifović