

DOI: [10.46793/CIGRE37.B3.03](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.B3.03)**B3.03****NAPAJANE SOPSTVENE POTROŠNJE ELEKTROENERGETSKOG OBJEKTA
PREKO NAPONSKIH TRANSFORMATORA SNAGE****SUPPLYING AUXILIARY POWER OF AN ELECTRICAL ENERGY FACILITY
THROUGH VOLTAGE POWER TRANSFORMERS****Sonja Stokić*, Asen Radovanov, Željko Stojanović, Marko Marković,
Aleksandar Ljujić, Slobodan Paunović**

Kratak sadržaj: U radu je opisano novo rešenje za rezervno napajanje sopstvene potrošnje elektroenergetskog objekta (EEO) preko naponskih transformatora snage. U objektima EMS-a do 2020. godine nije bilo ugrađenih naponskih transformatora snage, dok se u svetu sve više koriste. Naponski transformatori snage pored namotaja za merenje imaju i poseban namotaj za napajanje sopstvene potrošnje EEO. Oni u sebi kombinuju visokonaponski induktivni naponski transformator na primaru i energetski transformator na sekundaru. Novo tehničko rešenje primenjeno je na transformatorskoj stanici 220/110 kV Beograd 3, gde su korišćeni naponski transformatori snage 3x100 kVA priključeni na sabirnice 110 kV. Cilj ovog rada je prezentovati iskustvo stečeno u eksploataciji naponskih transformatora snage u navedenom EEO.

Ključne reči: napajanje, sopstvena potrošnja, naponski transformatori snage

Abstract: This paper presents a new technical solution for auxiliary power supply redundancy in an electrical power facility (EPF) using voltage power transformers. Until 2020, voltage power transformers were not installed in EMS facilities, although their use has been increasingly common worldwide. These transformers, in addition to having windings for measurement, include a dedicated winding for supplying the auxiliary systems of the EPF. They combine a high-voltage inductive voltage transformer on the primary side with a power transformer on the secondary side. The new solution was implemented at the 220/110 kV Belgrade 3 substation, where 3×100 kVA voltage power transformers were installed and connected to the 110 kV busbars. The aim of this paper is to present the experience gained during the operation of voltage power transformers in the specified electrical power facility.

Key words: power supply, auxiliary power, voltage power transformers

* Sonja Stokić, PD Elektroistok projektni biro, sonja.stokic@eipb.rs;
Asen Radovanov, Elektromreža Srbije AD, asen.radovanov@ems.rs
Željko Stojanović, Elektromreža Srbije AD, zeljko.stojanovic@ems.rs
Marko Marković, Elektromreža Srbije AD, marko.p.markovic@ems.rs
Aleksandar Ljujić, Elektromreža Srbije AD, aleksandar.ljujic@ems.rs
Slobodan Paunović, Elektromreža Srbije AD, slobodan.paunovic@ems.rs

1 UVOD

U EMS-u, naročito u poslednjih 10 godina, došlo je do rekonstrukcije postojećih elektroenergetskih objekata kao i do građenja novih. Lokacije novih objekata su često birane u ruralnim područjima, a rekonstrukcijom postojećih objekata se ukinulo rezervno napajanje sopstvene potrošnje objekta sa tercijera energetskih transformatora.

Po internom standardu EMS-a IS-EMS 133:2023 „Sopstvena potrošnja u transformatorskim stanicama, razvodnim postrojenjima, priključnim razvodnim postrojenjima i dispečerskim centrima” EEO obavezno poseduju tri izvora napajanja opreme sopstvenih potreba i to:

- osnovno napajanje,
- rezervno napajanje,
- sigurnosno napajanje.

Osnovno napajanje opreme sopstvenih potreba uzima se sa distributivne mreže putem distributivnog voda srednjeg napona (x kV), a koji po pravilu polazi iz izvorišne tačke sredjenaponske mreže x kV (u distributivnom objektu y/x kV, gde je $y > x$).

Rezervno napajanje opreme sopstvenih potreba može da bude:

- sredjenaponski distributivni vod, kao i u slučaju osnovnog napajanja. Poželjno je da osnovno i rezervno napajanje u osnovi polaze iz dva različita distributivna objekta ili sa dva različita sistema sabirnica koja napajaju posebni transformatori u istom objektu,
- korišćenjem tri induktivna naponska transformatora snage 110 kV (NTS), po pravilu, priključenim na sabirnice 110 kV u skladu sa IS-EMS 411 „Merni transformatori“,
- za priključna razvodna postrojenja koja se grade za potrebe priključenja korisnika proizvođača na prenosni sistem, rezervno napajanje sopstvenih potreba objekta prenosnog sistema može biti iz postrojenja proizvodnog modula, u slučaju da je tehnoeekonomski neopravdano da se ovaj pravac obezbedi iz distributivnog, odnosno zatvorenog distributivnog sistema.

Definisanje načina osnovnog i rezervnog napajanja za objekte koji su u vlasništvu EMS AD, biće definisani uvažavanjem Uslova za projektovanje i priključenje koje izdaje Operator Distributivnog Sistema.

Sigurnosno napajanje sabirnica nužnih potreba se obezbeđuje sa dizel-električnog agregata, koji se dimenzioniše minimalno prema snazi nužne opreme sopstvenih potreba.

2 OSNOVNI OPIS NAPONSKIH TRANSFORMATORA SNAGE

Naponski transformatori snage (NTS) su pojedinačni monofazni induktivni merni transformatori koji vrše transformaciju sa visokog (u ovom slučaju $115/\sqrt{3}$ kV) na niski napon $0.4/\sqrt{3}$ kV. Vezivanjem namotaja niskog napona od 3 monofazna naponska transformatora se formira trofazni sistem 0.4 kV. Mesto prelaska sa 3 monofazne jedinice u trofazni sistem 0.4 kV je razvodni orman naponskih transformatora (RONT) smešten na nosaču srednje faze naponskog transformatora.

Osnovna primena naponskih transformatora snage je:

- napajanje sopstvene potrošnje u elektroenergetskim objektima u kojima nije moguće obezbediti pouzdano napajanje na niskom naponu $3 \times 400/230$ V, 50 Hz,
- snabdevanje energijom potrošača tamo gde nema distributivne mreže ili je slaba a na lokaciji postoje visokonaponski vodovi,
- snabdevanje energijom za vreme izgradnje transformatorskih stanica, razvodnih postrojenja i priključnih razvodnih postrojenja pri elektranama (solarnih i vetro elektrana).

Elektromreža Srbije AD je primenu ovog konceptualnog rešenja uvela kroz pilot projekat za obezbeđivanje redundanse napajanja sopstvene potrošnje na transformatorskoj stanici (TS) 220/110 kV Beograd 3. Kroz faze izrade projektno tehničke dokumentacije odabrano je mesto ugradnje NTS-a vodeći računa o gabaritima opreme, raspoloživom prostoru u objektu i potencijalnoj problematici sa padovima napona na niskom naponu 3x400/230 V, 50 Hz. Transformatori su ugrađeni i pušteni u rad 2020. godine i na prenosni sistem povezani pomoću produžetka poprečne veze u transformatorskom polju 110 kV. Na taj način je obezbeđena raspoloživost ovog vida napajanja sopstvenih potreba sa raspoloživošću bilo kog od 2 glavna sistema sabirnica 110 kV na objektu. U razvojnoj fazi projekta razmatrana je i druga potencijalno izvodljiva opcija smeštanja naponskih transformatora snage na krajevima jednog od sistema sabirnica 110 kV.

Prilikom odabira rasklopne opreme na strani 110 kV uzeto je u obzir da je nominalna struja ovih naponskih transformatora ≤ 2 A i da se za prekidanje/rastavljanje istih mogu koristiti 110 kV tropolni dvostubni rastavljači bez potrebe za ugradnjom 110 kV prekidača.

Nominalna snaga naponskih transformatora od 100 kVA po jedinici odabrana je u skladu sa potrebama kompleksa objekta i mogućnošću gabaritnog smeštanja opreme na raspoloživom prostoru. Kao potencijalno ograničenje upotrebe ove opreme može se javiti nesrazmerna visina i masa izolacionog medijuma u odnosu na ostalu opremu koja se ugrađuje u razvodnim postrojenjima sa osnovnim izolacionim nivo-om 123 kV. U zavisnosti od zahtevane snage svaka pojedinačna jedinica naponskih transformatora snage može imati bar dvostruko veću visinu i nekoliko puta veću masu od standardnih konvencionalnih mernih transformatora za isti naponski nivo, što se između ostalog mora uzeti u obzir i kod definisanja zahteva po pitanju građevinskih elemenata (temelja i nosača aparata) i potencijalne problematike sa aspekta protivpožarne zaštite i zaštite životne sredine usled eventualnog izlivanja izolacionog medijuma (mineralnog izolacionog ulja).

Na tržištu je dostupno nekoliko dizajna, sa uljnom ili gasnom izolacijom. Trenutno postoje jednofazne jedinice za GIS i AIS, i trofazne jedinice za GIS. Za istu ukupnu snagu, monofazne jedinice su kompaktnije od trofaznih, pa je ovo rešenje primenljivije tamo gde je prostor za ugradnju ograničavajući faktor.

Jezgro naponskog transformatora je otvoreno, štapnog oblika i izrađeno od hladnovaljanog orijentisanog magnetnog lima. Sekundarni namotaj je smešten na stubu jezgra. Izrađen je od visokokvalitetne bakarne žice, toplotne klase F. Dimenzionisan je tako da izdrži dugotrajna i kratkotrajna termička i mehanička opterećenja. Primarni namotaj je smešten na izolacioni cilindar. Izrađen je od visokokvalitetne bakarne žice, toplotne klase F. Dimenzionisan je tako da izdrži dugotrajna i kratkotrajna termička i mehanička opterećenja.

Izolacija između primarnog namotaja i uzemljenih delova je izrađena od visokokvalitetnog izolacionog papira, kvaliteta P5318 prema DIN 6740, osušenog i impregnisanog transformatorskim uljem u visokom vakuumu. Kondenzatorsko delovanje električno provodnih obloga, raspoređenih u glavnoj izolaciji, povoljno utiče na raspodelu udarnih i naizmeničnih napona u namotajima i izolaciji. Posledica toga je ujednačeno opterećenje izolacije što čini ove transformatore otpornim kako na udarne napone atmosferskog porekla tako i na optimalno opterećenje izolacije u normalnim pogonskim uslovima. Izolatori su izrađeni od visokokvalitetnog porcelana, cilindričnog oblika i smeđe boje.

Kućište (postolje) transformatora je zavarena konstrukcija od nerđajućeg čelika. Primarna veza je izrađena od aluminijuma i ravna u vertikalnom položaju. Sekundarni priključci se nalaze u glavnoj sekundarnoj priključnoj kutiji.

Transformatori su punjeni visokokvalitetnim mineralnim uljem sa dodatkom inhibitora koji poboljšava otpornost ulja na starenje. Odstranjivanje gasova i dehidracija ulja se izvode pod visokim vakuumom (do sadržine vlage od 10 mikrograma po gramu), čime se postižu maksimalna dielektrična svojstva izolacije.

Transformator je hermetički zatvoren, bez mogućnosti kontakta ulja sa okolnim vazduhom. Visokokvalitetna metalna membrana izrađena od nerđajućeg čelika kompenzuje toplotnu dilataciju ulja. Obzirom da nema kontakta ulja sa okolinom maksimalno se zadržavaju izolaciona svojstva izolacije.

3 IMPLEMENTACIJA NAPONSKIH TRANSFORMATORA SNAGE U POSTROJENJU

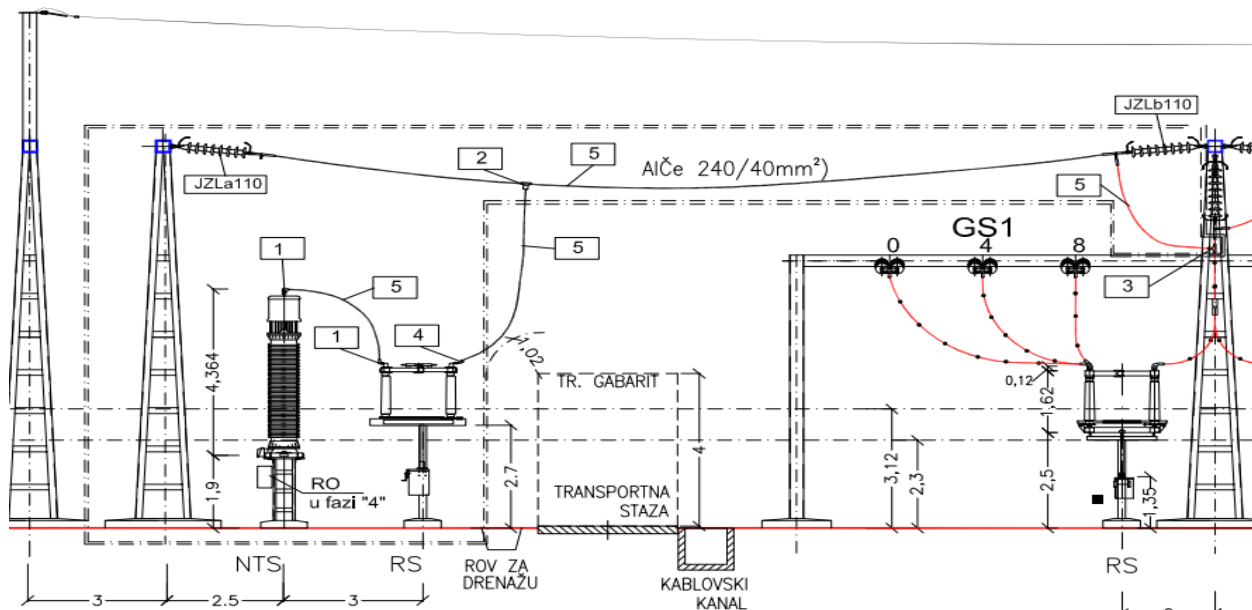
Novo tehničko rešenje primenjeno je na transformatorskoj stanici (TS) 220/110 kV Beograd 3, gde su ugrađeni naponski transformatori snage 3x100 kVA priključeni na sabirnice 110 kV. Ugrađene su tri monofazne jedinice ukupne snage 300 kVA.

Dve su lokacije u trafostanicama gde je moguće priključivanje naponskih transformatora snage. Uglavnom se NTS priključuju na glavne sabirnice u trafostanicama. Razlog je pouzdanost rada odnosno manja mogućnost da će glavne sabirnice biti van upotrebe zbog nepredviđenih kvarova kao i ekonomski faktor tj, nije potrebna ugradnja dodatnih portala, potpornih izolatora kao ni dodatnih visokonaponskih aparata.

U slučaju konkretnog elektroenergetskog objekta TS Beograd 3 nije postojala prostorna mogućnost za ovakav način ugradnje, pa je odlučeno da se NTS ugrade u postojeće transformatorsko polje 110 kV.

Kako u ovom polju nije bilo poprečnih veza na strani mesta ugradnje naponskog transformatora snage potrebno je bilo ugraditi nov portal i razvući poprečne veze od sabirnica 110 kV do portala.

Ugrađen je i rastavljač 110 kV na primarnoj strani za slučaj kvara na NTS. Bez rastavljača za slučaj kvara NTS energetski autotransformator u pripadajućem polju ostaje neraspoloživ do intervencije ekipe i primarnog razvezivanja NTS.



Slika 1. Presek polja E03 sa ugrađenim NTS

Tehničke karakteristike ugrađenih napanskih transformatora snage su:

Ugrađeni naponski transformator snage 100 kVA, Si 123, ima sledeće karakteristike:

- naznačeni napon 123 kV,
- odnos transformacije $115/\sqrt{3}:0,4/\sqrt{3}:0,1/\sqrt{3}$ kV/
kV,
- napon kratkog spoja u_k 7,1%
- sa dva sekundarna namotaja I 100 kVA,
II kl. 3P, 75 VA,
- nazivni faktor napona V_f 1,5/30s,
- podnosivi atmosferski udarni napon 550 kV,
- podnosivi naizmenični napon industrijske frekvence 230 kV,
- ukupna masa 2450 kg,
- temperaturni opseg -25/+40°C,
- visina 4364±20 mm.

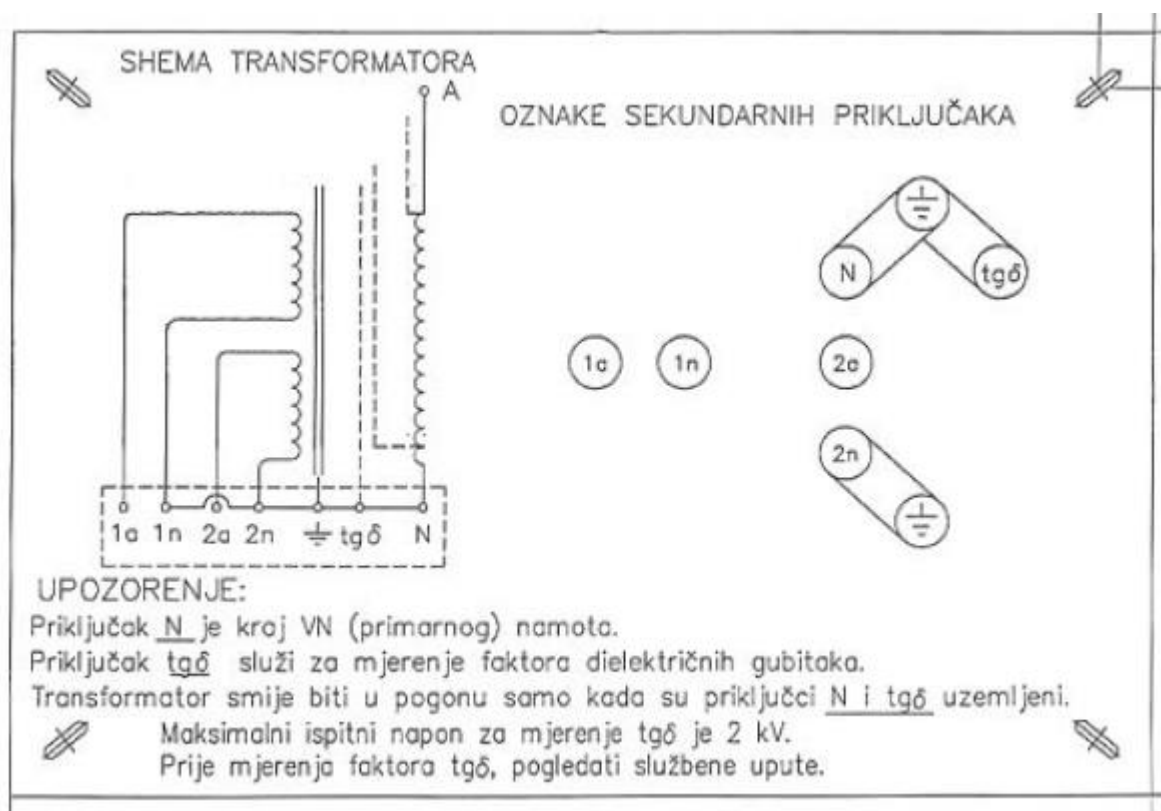


Slika 2. Ugrađeni NTS u polju E03

Sistem zaštite NTS je bitan faktor za njegovu ugradnju bilo u polju ili direktno na sabirnicama. Što se tiče podešavanja releja i sistema zaštite, koncept dizajna to obezbeđuje u slučaju struje kratkog spoja koja potiče sa niskonaponske strane NTS. Zaštita na strani 110 kV je podešena da ne reaguje na kvar na strani 0.4 kV, a integrisani osigurač u sigurnosnom prekidaču, koji se nalazi u razvodnoj kutiji NTS, je podešen da reaguje odmah, isključujući NTS iz sistema i time se sprečava oštećenje niskonaponske opreme (0.4 kV).

Primenjeno rešenje uzemljenja NTS na TS Beograd 3 je da su NTS uzemljeni na sledeći način: nulti provodnici su iz sekundarne priključne kutije dovedeni na PEN šinu u zajedničkom ormanu-(RONT) =E03+ZT55 u polju E03. Prema VPT šemi NTS koju je dostavio proizvođač, u samoj sekundarnoj priključnoj kutiji je na istoj tački je 1n kraj nultog NN namotaja NTS napona $0.4/\sqrt{3}$ kV i N nultog kraja VN namotaja NTS napona $110/\sqrt{3}$ kV. (Na istoj tački je i priključak za merenje $\text{tg}\delta$ i 2n NN kraj nultog provodnika namotaja $0.1/\sqrt{3}$ kV koji se trenutno ne koristi). PEN šina u ormanu =E03+ZT55 je uzemljena najkraćom mogućom vezom za uzemljivač postrojenja.

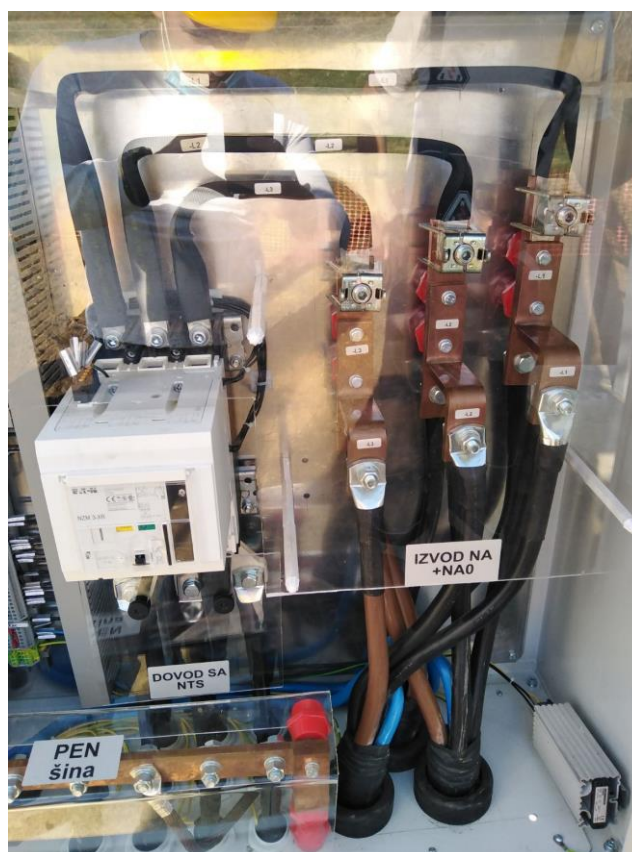
Nulti provodnici NN kablova koji povezuju =E03+ZT55 orman sa =NA+NA0 razvodnim ormanom su uzemljeni na dva mesta: na PEN šinu u =E03+ZT55 ormanu i sa druge strane kablova na PEN u NA ormanu 0.4 kV razvoda sopstvene potrošnje.



Slika 3. VPT električna šema (sekundarna priključna kutija)



Slika 4. Detalj u sekundarnoj priključnoj kutiji



Slika 5. RONT



Slika 6. Detalj u RONT-u

Slabost ovakvog rešenja uzemljenja, koje je u skladu sa uputstvima proizvođača NTS, je što bi u slučaju kvara u postrojenju 110 kV, gde je struja kvara proračunata na oko 36kA, jedan deo te struje kvara, recimo (procena) 5kA prošao kroz nulte provodnike NN kablova od PEN šine u ormanu =E03+ZT55 do PEN šine ormara NA razvoda. Na osnovu ovoga nulte provodnike je potrebno dimenzionisati da izdrže toliku struju za 0.5 sekundi, koliko bi moglo da traje maksimalno vreme isključenja kvara. Takođe, tolika struja kroz nulte provodnike bi mogla i da izazove indukciju struja u nekim drugim NN kolima u NA razvodu, što bi izazvalo reagovanje MCB i MCCB u NA razvodu.

U primenjenom rešenju, je korišćen napojni višežilni kabl sa strujnoopteretivom oblogom. Presek kabla, proveren proračunom, je pokazao da kabl može da izdrži struju kvara i više od 0,5 sek.

4 ISPITIVANJA I ANALIZA RADA

Proizvodnja, ispitivanje i održavanje naponskih transformatora snage u bitnim koracima se oslanja na standard IEC 63253-5713-8.

Sva ispitivanja koja se rade kod konvencionalnih naponskih transformatora po programu rutinskih i tipskih ispitivanja rade se i kod naponskih transformatora snage. To su ispitivanja: vizuelna provera kompletnosti i provera označavanja izvoda, ispitivanje podnosivim naponom industrijske frekvencije, merenje parcijalnih pražnjenja, merenje kapaciteta i ugla gubitaka (tgδ), ispitivanje naponom industrijske učestanosti sekundarnih namotaja i priključka za uzemljenje, provera klase tačnosti, Ispitivanje galvanizacije i merenje prenosnog odnosa transformacije.

Dodatak na ova ispitivanja su ispitivanja koja se vrše u skladu sa grupom standarda IEC 60076 vezanih za energetske transformatore a to su:

- Merenje otpora namotaja
- Merenje napona kratkog spoja i gubitaka pri opterećenju
- Merenje gubitaka u praznom hodu i struje praznog hoda pri nazivnoj frekvenciji

Rezultati merenja gubitaka u praznom hodu i gubitaka pri opterećenju pokazuju jednu lošu stranu napopnskih transformatora snage u poređenju sa uljnim ili suvim energetske transformatorima male snage koji se koriste za napajanje sopstvene potrošnje. U sledećoj tabeli dat je odnos gubitaka ove dve vrste transformatora.

Tabela 1. Odnos gubitaka NTS i ET

	NTS 100 kVA	ET 100 kVA	3x NTS 300 kVA	ET 400 kVA
Gubici u praznom hodu (W)	1400	250	4200	630
Gubici pri opterećenju na 75 °C (W)	1000	1600	3000	3900
Ukupni gubici (W)	2400	1850	7200	4530

Elektromreža Srbije AD u cilju povećanja kvaliteta nabavke, eksploatacije i održavanja naponskih transformatora uvela je interni standard IS EMS 413 za ispitivanje naponskih transformatora. Po ovom standardu svi naponski transformatori podležu periodičnim ispitivanjima i kontroli pa tako i naponski transformatori snage. Za određivanje stanja naponskih transformatora snage koji su u pogonu najčešće se koriste sledeće metode:

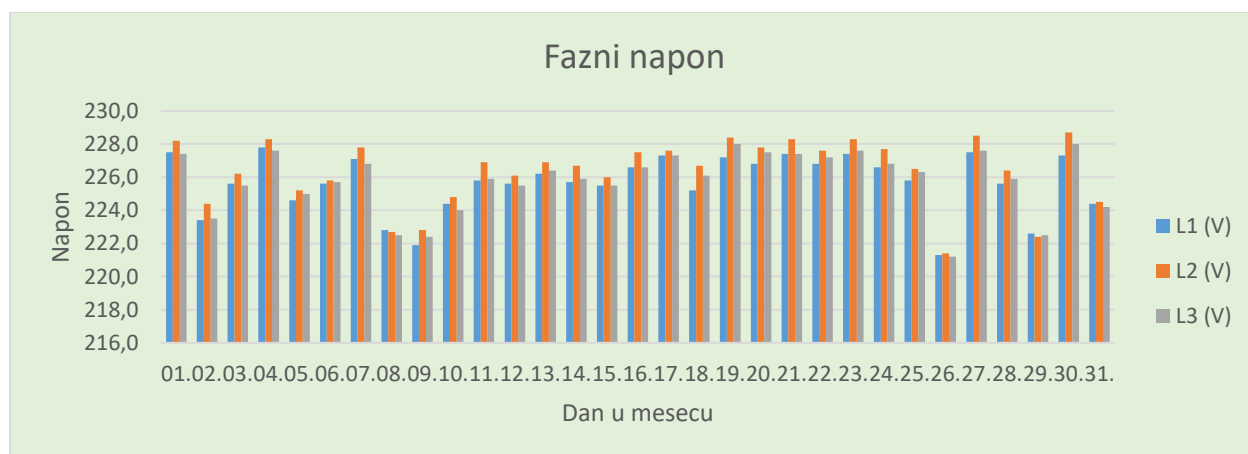
1. Vizuelni pregled (nivo ulja, stanje i položaj elastične membrane, stanje porcelanskih izolatora, stanje elemenata za zaptivanje, stanje antikorozivne zaštite, uzemljenje transformatora, zvučni efekti koje proizvodi merni transformator);
2. Električne metode (merenje otpornosti izolacije sa određivanjem indeksa polarizacije, merenje faktora dielektričnih gubitaka i kapacitivnosti, merenje prenosnog odnosa);
3. Termovizijski pregled transformatora;
4. Hemijske metode (gasnohromatografska analiza gasova rastvorenih u ulju, ispitivanje karakteristika ulja – posebno merenje faktora dielektričnih gubitaka i specifične otpornosti ulja);
5. Ultrazvučna metoda detekcije parcijalnih pražnjenja.

Naponske i termičke prilike ugrađenih transformatora kontinuirano su praćene u dosadašnjem radu korišćenjem analizatora mreže ugrađenog u razvodnom ormanu 0.4 kV =NA+NA0 s ciljem nadzora transformatora i prikupljanja pogonskih iskustva. U sledećoj tabeli data su merenja dobijena iz analizatora mreže za mesec januar 2021. godine.

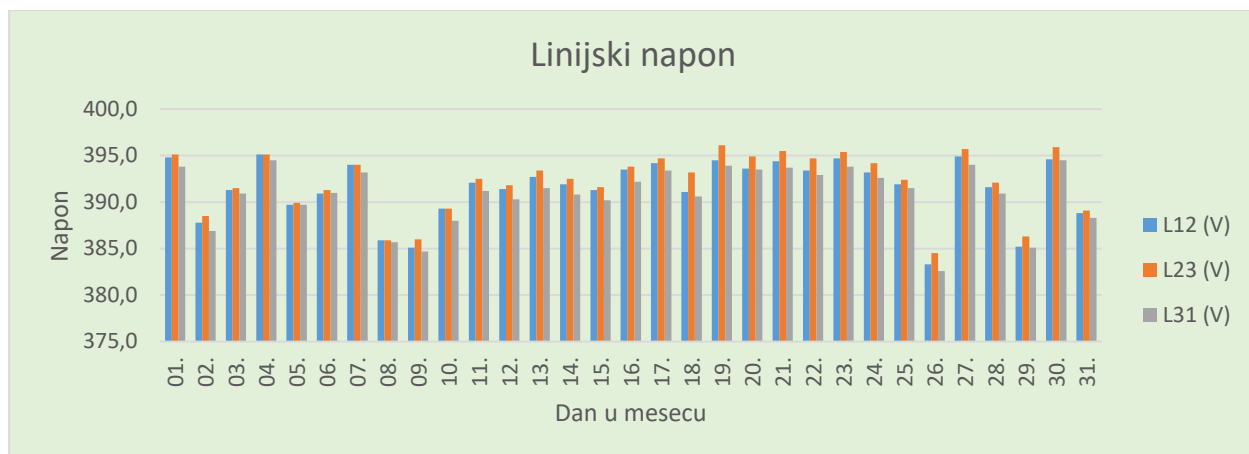
Tabela 2. Merenja iz analizatora mreže

ANALIZATOR MREŽE													
JANUAR 2021.	Fazni naponi			Linijski naponi			Struje po fazi			Frekven.	Aktivna snaga	Reakt. snaga	Prividna snaga
Dan	L1 (V)	L2 (V)	L3 (V)	L12 (V)	L23 (V)	L31 (V)	I1 (A)	I2 (A)	I3 (A)	Freq.(Hz)	Pmax (kW)	Q kVAr	S(kVA)
01.	227.5	228.2	227.4	394.8	395.1	393.8	159	130	146	50.00	98	12	99
02.	223.4	224.4	223.5	387.8	388.5	386.9	163	128	151	49.98	98	11	98
03.	225.6	226.2	225.5	391.3	391.5	390.9	164	126	144	49.99	97	11	98
04.	227.8	228.3	227.6	395.1	395.1	394.5	158	126	135	50.02	94	12	95
05.	224.6	225.2	225.0	389.7	389.9	389.7	174	140	141	49.98	101	17	102
06.	225.6	225.8	225.7	390.9	391.3	391.0	159	130	138	50.05	95	11	96
07.	227.1	227.8	226.8	394.0	394.0	393.2	158	123	140	50.01	95	11	95
08.	222.8	222.7	222.5	385.9	385.9	385.7	163	141	147	50.00	99	17	100
09.	221.9	222.8	222.4	385.1	386.0	384.7	162	133	141	49.99	96	11	97
10.	224.4	224.8	224.0	389.3	389.3	388.0	159	133	157	50.02	100	11	100
11.	225.8	226.9	225.9	392.1	392.5	391.2	167	129	146	49.99	99	11	100
12.	225.6	226.1	225.5	391.4	391.8	390.3	158	136	154	49.97	100	12	101
13.	226.2	226.9	226.4	392.7	393.4	391.5	159	139	159	50.00	102	11	103
14.	225.7	226.7	225.9	391.9	392.5	390.8	160	135	154	49.96	101	12	101
15.	225.5	226.0	225.5	391.3	391.6	390.2	159	137	154	50.00	100	11	101
16.	226.6	227.5	226.6	393.5	393.8	392.2	159	139	154	49.97	102	11	102
17.	227.3	227.6	227.3	394.2	394.7	393.4	146	129	146	50.00	95	6	96
18.	225.2	226.7	226.1	391.1	393.2	390.6	168	135	159	50.01	104	6	104
19.	227.2	228.4	228.0	394.5	396.1	393.9	165	137	155	49.99	104	6	104
20.	226.8	227.8	227.5	393.6	394.9	393.5	167	139	152	49.98	104	6	104
21.	227.4	228.3	227.4	394.4	395.5	393.7	163	127	156	50.01	101	7	101
22.	226.8	227.6	227.2	393.4	394.7	392.9	161	134	159	49.98	103	5	103
23.	227.4	228.3	227.6	394.7	395.4	393.8	160	134	153	50.01	101	6	102
24.	226.6	227.7	226.8	393.2	394.2	392.6	168	130	153	49.99	102	4	102
25.	225.8	226.5	226.3	391.9	392.4	391.5	157	134	139	50.01	96	11	97
26.	221.3	221.4	221.2	383.3	384.5	382.6	147	124	157	50.02	94	11	94
27.	227.5	228.5	227.6	394.9	395.7	394.0	154	120	142	49.97	94	6	94
28.	225.6	226.4	225.9	391.6	392.1	390.9	148	125	136	49.98	92	6	92
29.	222.6	222.4	222.5	385.2	386.3	385.1	144	123	148	49.98	91	9	92
30.	227.3	228.7	228.0	394.6	395.9	394.5	151	113	122	49.99	88	7	88
31.	224.4	224.5	224.2	388.8	389.1	388.3	159	132	156	50.01	100	5	100

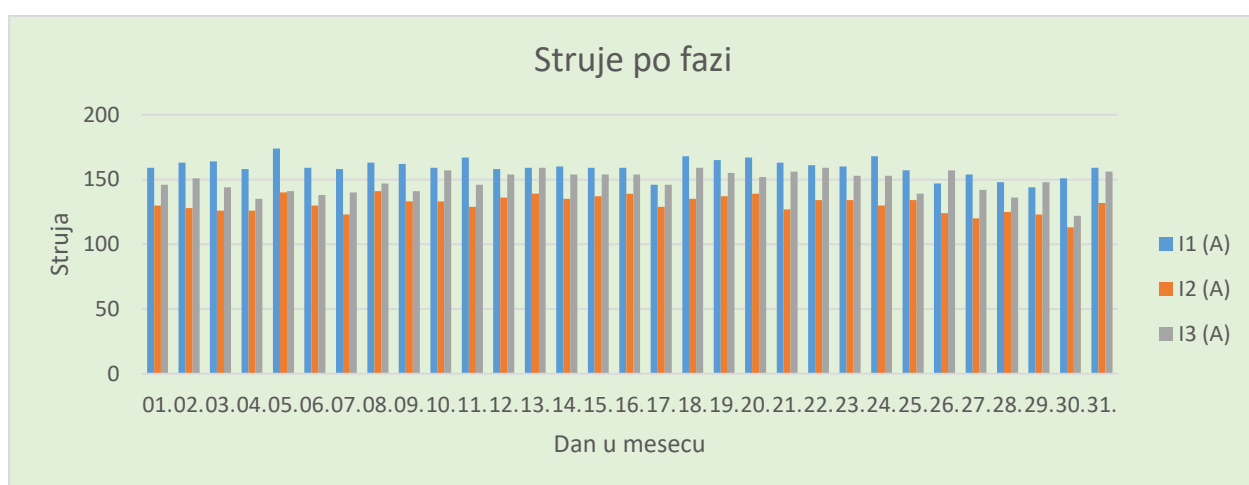
Na osnovu Tabele br.2 su napravljeni grafikoni koji grafički prikazuju izmerene vrednosti.



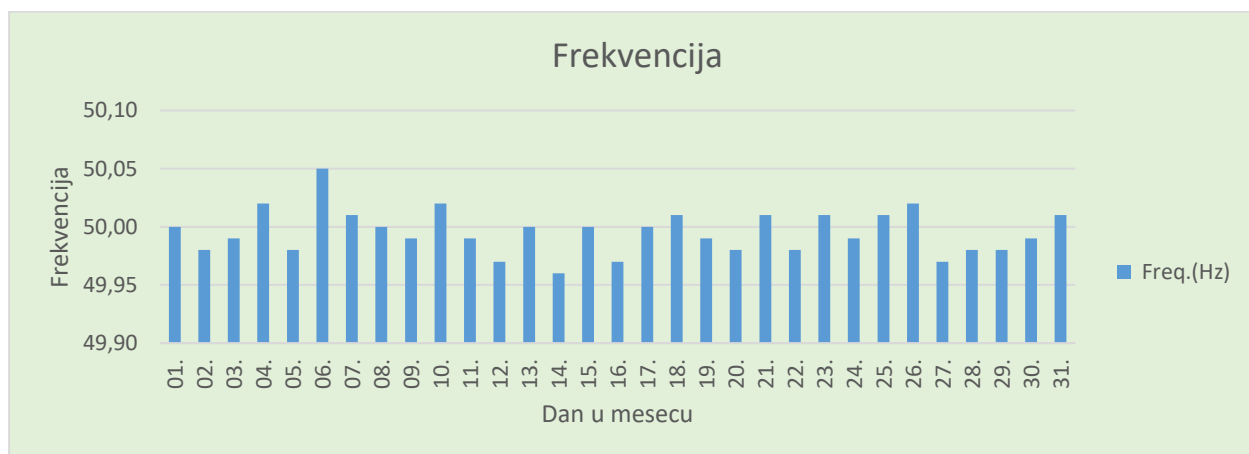
Grafikon 1. Fazni napon



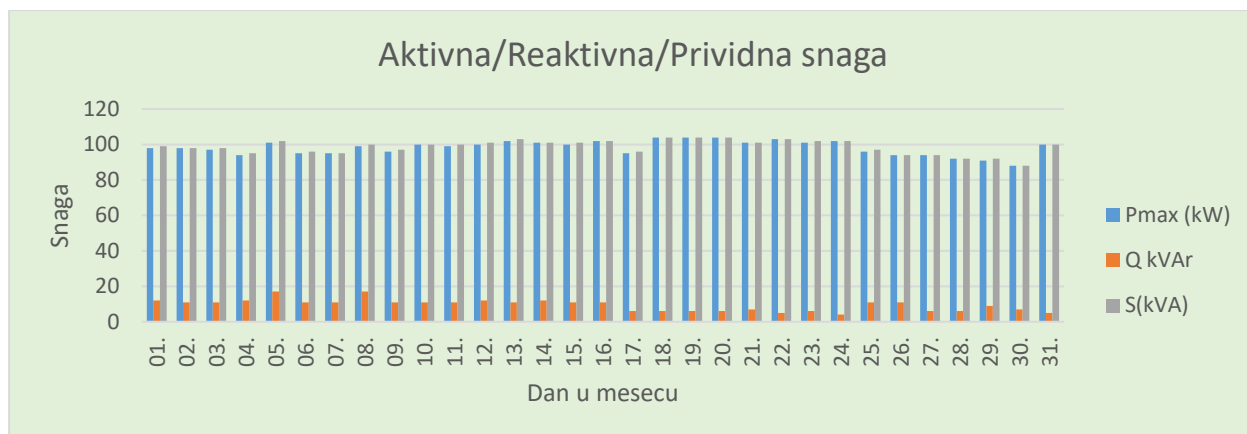
Grafikon 2. Linijski napon



Grafikon 3. Struje po fazi



Grafikon 4. Frekvencija



Grafikon 5. Aktivna/Reaktivna/Prividna snaga

5 ZAKLJUČAK

Na osnovu dosadašnjeg iskustva EMS AD-a u pogonu, ponašanja i merenja na ugrađenim NTS primarnog napona 110 kV može se reći da je njihova dalja primena kao rezervno napajanje sopstvenih potreba opravdana uz određena ograničenja a to su:

- Zahtevi i ograničenja u pogledu veličine temelja i nosećih konstrukcija
- Ograničenja po pitanju zahtevane snage zbog prostora, gabarita i potencijalne opasnosti od havarijskog izlivanja izolacionog ulja. Uzimajući u obzir iskustva sa ovog pilot projekta EMS AD je prepoznao upotrebljivost jedinica sa nominalnom snagom ≤ 75 kVA
- Smanjenje pouzdanosti i raspoloživosti sabirnica 110 kV usled potencijalnog kvara naponskih transformatora snage
- Potreba za postojanjem regulacije sekundarnog napona umetanjem mehaničkih sklopova za promenu prenosnog odnosa na namotaju primara
- Znatno veći gubici u poređenju sa gubicima koji se stvaraju kada se za napajanje sopstvene potrošnje koriste konvencionalni transformatori
- Zbog naponskih prilika sa povišenim naponima u regionu u prenosnim mrežama 400 kV i 220 kV EMS AD je primenu NTS ograničio na naponski nivo 110 kV.

6 LITERATURA

- [1] Rekonstrukcija TS 220/110/10,5 kV Beograd 3, Ugradnja naponskih transformatora snage za rezervno napajanje sopstvene potrošnje, Elektroistok Projektni Biro d.o.o., septembar 2019.
- [2] IEC 63253-5713-8 Station service voltage transformers (SSVT)
- [3] Žiger, R. Maruš, R. Ferlič, D. Malek, V. Lovrenčić, R. Judnič : Iskustvo primjene naponskih transformatora velike snage, 14. savjetovanje HRO Cigre, Šibenik, studeni 2019.
- [4] Phongkhumphai, N.Chaiyaphan, T.Nantachai, K.Wongniyom, P.Sawaddeemongkon: Design and considerations for Station Service Voltage Transformer (SSVT) to provide low-voltage supply in high voltage substation, CIGRE 2024 Paris Session
- [5] E. Regil, A. Burgos: Inductive voltage transformers for auxiliary services power supply in substations. Design, specification and normative aspects and application example, CIGRE 2016 Paris Session
- [6] VPT-Naponski transformator velike snage 72,5 do 550 kV, Končar - Mjerni transformatori d.d.