

Marin Schönberger, dipl. ing.
Nikola Jaman, dipl. ing.
HEP Prijenos, Prijenosno područje Osijek
mr. sc. Antun Mikulecky, dipl. ing.
KONČAR-Institut za elektrotehniku, Zagreb

A2 – 02

ISKUSTVA S VN PROVODNICIMA BEZ MJERNOG PRIKLJUČKA

SAŽETAK

Članak opisuje prilagodbu VN provodnika bez mjernog priključka za mjerenje $\tan\delta$ i C na terenu. Prilagodba i mjerenje su izvršeni na 123 provodnika naponskog nivoa 123 kV, što je omogućilo njihovu daljnju preventivnu kontrolu. Prilikom zamjene neispravnih provodnika često su utvrđene različite dimenzije koje ne odgovaraju tehničkoj dokumentaciji ili tipskim oznakama.

Ključne riječi: VN provodnik, prilagodba, dijagnostika, problemi prilikom zamjene

EXPERIENCES WITH HV BUSHINGS WITHOUT MEASURING TAP

SUMMARY

This paper presents adaptation of HV of transformer bushing, without measuring tap, for measuring $\tan\delta$ i C on site. The adaptation and measuring are provided on 123 bushings on 123 kV level. In this way further preventive control is enabled. During the replacement malfunctioned bushing, different dimensions were found which do not correspond with technical documentation or type marks.

Key words: HV bushings, adaptation, diagnostics, replacement problems

1. UVOD

Visokonaponski provodnici napona 123 kV, proizvedeni približno do početka osamdesetih godina, vrlo su često izvedeni bez mjernog priključka. Njihov kapacitet, C , i faktor dielektričkih gubitaka izolacije, $\tan\delta$, moguće je izmjeriti samo kad oni nisu montirani na transformatoru (prije montaže, za vrijeme remonta u tvornici ili općenito nakon demontaže s transformatora).

Prema raspoloživim podacima o zastupljenosti provodnika sa i bez mjernog priključka, [1], na transformatorima u prijenosnoj mreži HEP Prijenosa d.o.o., oko 38 % transformatora opremljeni su provodnim izolatorima bez mjernog priključka. Dakle, izolacijski sustav provodnika je bez dijagnostičkog nadzora na približno trećini energetskih transformatora. Razmatrajući ovaj problem pronađeno je trajno rješenje izvođenjem prilagodbe za ispitivanje, koja je jeftina i jednostavna.

2. DIJAGNOSTIKA PROVODNIKA BEZ MJERNOG PRIKLJUČKA

Provodniku bez mjernog priključka, montiranom na transformatoru, nemoguće je neovisno izmjeriti njegov kapacitet i faktor dielektričkih gubitaka zbog toga što su njemu paralelno spojeni kapacitet pripadajućeg namota prema uzemljenim dijelovima i kapaciteti svih ostalih provodnika spojenih na taj namot. Prema iskustvu, ti dodatni kapaciteti su približno 20 do 100 puta veći od kapaciteta provodnika koji želimo mjeriti. Eventualna promjena $\tan \delta$ ili kapaciteta provodnika u potpunosti je zasjenjena s kapacitetom i $\tan \delta$ izolacije namota i ostalih provodnika. Ako se npr. provodniku kapaciteta 150 pF i $\tan \delta = 0,3 \cdot 10^{-2}$ (što odgovara novoj jedinici) on poveća na $1 \cdot 10^{-2}$ (što odgovara kriteriju za neispravan provodnik), uz paralelno spojeni kapacitet od 3 nF i njegov $\tan \delta = 0,5 \cdot 10^{-2}$, mjerena vrijednost $\tan \delta$ će se promijeniti sa $0,49 \cdot 10^{-2}$ na $0,52 \cdot 10^{-2}$. To je vrlo mala promjena i na granici je razlučivanja primjenjivanih mjernih uređaja u terenskim uvjetima. Povećanjem točnosti mjerenja ne možemo postići poboljšanje dijagnostike zbog toga što su svi kapaciteti podložni promjenama, a najveći kapacitet ima proporcionalno najveći utjecaj na rezultat.

3. PRILAGODBA VN PROVODNIKA BEZ MJERNOG PRIKLJUČKA

Prilagodba se sastoji od radnji kojima se prirubnica provodnika izolira od kotla transformatora, čime se omogućava neovisno mjerenje. Na demontiranom provodniku poveća se promjer postojećih rupa na prirubnici u koje se tada umeću specijalni izolacijski tuljci, slika 1. Oni prirubnicu izoliraju od pričvrstnih vijaka kotla, a prema kotlu prirubnicu izolira brtva od gumiranog pluta. Za razvrtavanje rupa na prirubnici koristi se za tu svrhu posebno napravljen stol sa bušilicom. Stol je na nogama izoliranim prema zemlji i omogućava pomoćno kontrolno mjerenje kapaciteta i faktora dielektričkih gubitaka provodnika izvan transformatora, a prije njegove ponovne ugradnje. Tijekom cijelog zahvata provodnik ostaje u uspravnom položaju te je tako onemogućena migracija plinova, koji se nalaze u dilatacijskom prostoru na vrhu, u izolacijski napregnutija područja provodnika. Električki spoj prirubnice s kotlom za vrijeme pogona pouzdano se ostvaruje pomoću dodatno ugrađene odgovarajuće pletenice, slika 2.

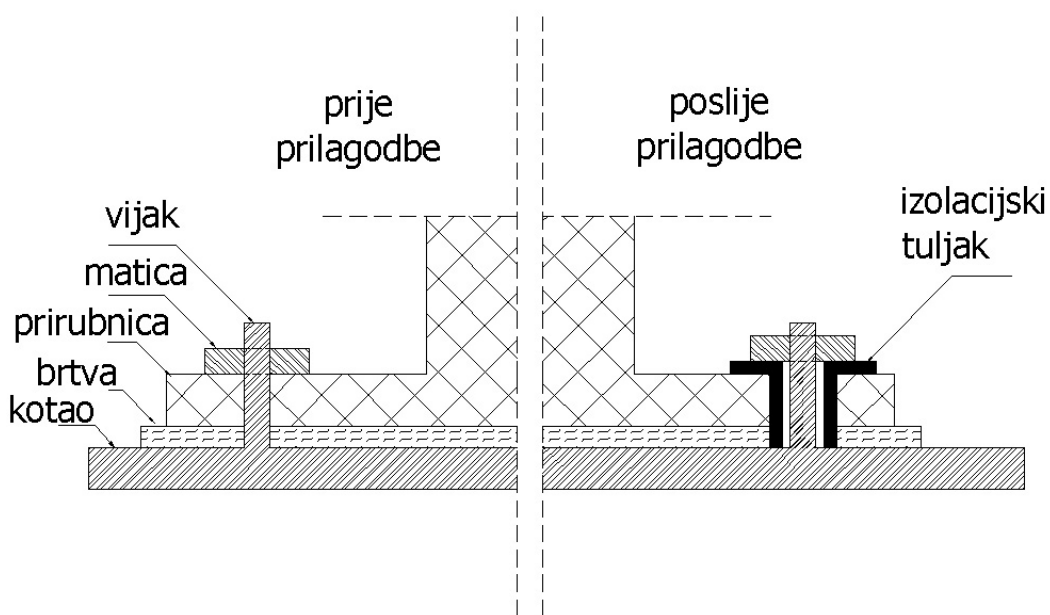


Slika 1. Izolacijski i pričvrstni dijelovi korišteni za prilagodbu provodnika

Za prilagodbu provodnika potrebno je imati pripremljene navedene izolacijske dijelove i pletenicu, ispitivača s opremom, stol sa specijalnom bušilicom i autodizalicu. Na jednom energetskom transformatoru 110/x kV svi potrebni radovi mogu se izvršiti u jednom radnom danu ili za oko 8 radnih sati. Slika 3. prikazuje detalj prirubnice prije i nakon izvedene prilagodbe.



Slika 2. Spoj provodnika i kotla u pogonu s odgovarajućom pletenicom



Slika 3: Detalj prirubnice prije i nakon izvedene prilagodbe

Prije primjene na terenu, izolacijska svojstva tuljaka, brtvi te funkcionalnost potpunog rješenja provjereni su ispitivanjima u visokonaponskom laboratoriju. Ustanovljeno je da zadovoljavaju namjeni, a ujedno je ustanovljen utjecaj parametara izolacije između prirubnice i kotla na rezultate mjerenja za raspoloživu ispitnu opremu (visokonaponski izvor tip 5281 i transformatorski mjerni most tip 2805 firme Tettex). Utjecaj smanjenja izolacijskog otpora, koji se očekuje tijekom pogona, simuliran je otporom spojenim između prirubnice i kotla (paralelno otporu izolacije prirubnice). Rezultati mjerenja C i $\tan\delta$ provodnika za različite otpore izolacije prirubnice (R_{iz}) nalaze se u tablici I. Ispitni napon iznosio je 10 kV.

Tablica I. Utjecaj otpora izolacije prirubnice (R_{iz}) na rezultate mjerenja C i $\tan\delta$ provodnika

R_{iz} k Ω	$\tan\delta_+$ 10^{-2}	$\tan\delta$ 10^{-2}	$\tan\delta$ 10^{-2}	C_+ pF	C_- pF	C pF
>1000	0,497	0,495	0,496	146,6	146,6	146,6
56	0,491	0,507	0,499	146,8	147,1	146,9
20	0,490	0,500	0,495	146,6	146,8	146,7
15	0,485	0,503	0,494	146,6	146,8	146,7
12	0,480	0,507	0,493	146,5	146,8	146,7
10	0,475	0,523	0,499	146,5	146,8	146,7
8	0,453	0,529	0,491	146,6	146,8	146,7
6	0,442	0,540	0,491	146,5	146,9	146,7
5	0,429	0,539	0,484	146,5	146,9	146,7
4	0,421	0,550	0,486	146,4	146,9	146,7
3	0,493	0,441	0,467	146,3	146,9	146,6
2	0,530	0,420	0,475	146,3	147,0	146,7
1	0,554	0,348	0,451	145,7	147,5	146,6
0,5	0,686	0,168	0,427	144,7	148,4	146,5

Iz tablice I. je vidljivo da, ako je otpor izolacije prirubnice veći od 10 k Ω , se može zanemariti njegov utjecaj na mjerenu vrijednost $\tan\delta$ provodnika, izračunatu kao srednju vrijednost dvaju mjerenja $\tan\delta_+$ i $\tan\delta$, kod izvora napajanja u fazi i protufazi. Utjecaj na mjerenje kapaciteta je praktički zanemariv u promatranom rasponu otpora izolacije prirubnice. Otpor izolacije prirubnice od 10 k Ω jednostavno je ostvariv i nakon višegodišnjeg pogona.

4. REALIZACIJA NA TERENU I REZULTATI ISPITIVANJA

Prva realizacija prilagodbe provodnika u praksi ostvarena je 2000. godine u Prijenosnom području Osijek, [1], gdje je uspješno provedena na 5 transformatora snage 20 MVA, odnosno na 20 provodnika 123 kV. Radovi i ispitivanja su nastavljeni 2001. godine u Prijenosnom području Osijek i Prijenosnom području Zagreb i to na slijedećih 20 transformatora te 2002. godine na još 6 transformatora. Sveukupno je modificirano i ispitano do sada 123 provodnika. Rezultati ispitivanja su u tablici II, a pregled ocjene stanja (ispravnosti) po godinama proizvodnje prikazan je u tablici III.

5. PODUZETE AKCIJE NA TERENU

Odmah nakon utvrđivanja stanja provodnika, još prilikom prilagodbe za mjerenje, nastojalo se najlošije jedinice montirati u fazu "N", budući da u tom trenutku nismo imali odgovarajući rezervni provodnik.

Tablica II. Rezultati ispitivanja provodnika tijekom prilagodbe

Izmjerene vrijednosti $\tan\delta, \cdot 10^{-2}$	Ocjena stanja provodnika	Broj provodnika	Udio provodnika, %
< 0,7	ISPRAVAN	98	79,7
0,7 ÷ 1,0	NEPOUZDAN	17	13,8
≥ 1,0	NEISPRAVAN	8	6,5

Tablica III. Razvrstavanje prilagođenih provodnika po stanju i godini proizvodnje

Ocjena stanja provodnika	Godina proizvodnje (zadnje dvije znamenke)					
	55 - 59	60 - 64	65 - 69	70 – 74	75 – 79	85 - 89
ISPRAVAN	0	10	30	39	12	7
NEPOUZDAN	3	7	2	1	0	4
NEISPRAVAN	1	2	0	0	0	5

Napomene uz tablicu III:

1. Nije bilo prilagođenih provodnika s godinom proizvodnje od 1980. do 1984. godine.
2. Primjećuje se da provodnici najmanje starosti (godina proizvodnje od 1985. do 1989.) imaju povećanu zastupljenost lošeg stanja izolacijskog sustava. Ustanovljeno je da je te provodnike proizveo jedan malo poznat proizvođač za bivše istočnoeuropsko tržište. Opravdana je sumnja da se radi o nekvalitetnim proizvodima i zbog toga su ti rezultati izuzeti iz razmatranja o vijeku trajanja provodnih izolatora.

Na temelju rezultata ispitivanja napravljen je plan nabave i zamjene provodnika. Budući da se takvi tipovi provodnika uglavnom više ne proizvode [2], bilo je potrebno odabrati zamjenske, nove tipove. Osim osnovnih podataka struje i napona, pri odabiru se moralo paziti na dimenzije, posebno na dimenzije prirubnice, dijela izolatora koji se uranja u ulje transformatora, te unutrašnjeg promjera središnje cijevi kroz koju prolazi vodič. Glede određivanja tih dimenzija uočeni su određeni problemi te su se za svaki demontirani provodni izolator kontrolirale dimenzije. Problemi su bili slijedeći

1. Proizvođač A:
 - na natpisnim pločicama postojale su samo vrijednosti struje i napona, a ne i tip da bi se moglo iz kataloga odrediti dimenzije,
 - dimenzije provodnika prema tipskim oznakama nisu odgovarale tehničkoj dokumentaciji, i
 - kod određenog tipa su postojali provodni izolatori i sa i bez ekrana.
2. Proizvođač B:
 - dimenzije provodnika prema tipskim oznakama nisu odgovarale tehničkoj dokumentaciji,
 - kod određenog tipa su postojali provodnici i sa i bez ekrana, i
 - duljina dijela u ulju za provodnike istog tipa se razlikovala do 20 mm.
3. Proizvođač C:
 - za njega nije postojala tehnička dokumentacija.

Tek s točno poznatim dimenzijama moglo se odabrati odgovarajuće zamjenske provodnike koji danas postoje u proizvodnim programima, a za neke smo zahtijevali specijalne izvedbe provodnika s našim dimenzijama. U suprotnom, bilo bi potrebno izvesti prilagodbe na transformatorskim izvodima, što bi bilo neuporedivo kompliciranije i skuplje rješenje.

Za zamjenu provodnika, osim opreme za ispuštanje ulja (nekoliko cm ispod poklopca transformatora), potrebno je imati bakrenu pletenicu odgovarajućeg presjeka, spojnicu za bakrenu pletenicu, alat za prešanje spojnice, novi VN priključak, koji se u pravilu isporučuje s novim provodnicima, pribor za zavarivanje bakra i traku izolacijskog papira.

6. ZAKLJUČAK

Iz podataka u tablicama II i III te usporedbom rezultata ispitivanja provodnika koji su opremljeni mjernim priključkom, [3], mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- udio provodnika, koji su temeljem dijagnostičkih ispitivanja ocijenjeni kao neispravni, je 1,3 % opremljenih s mjernim priključkom, a 6,5 % bez mjernog priključka, odnosno pet puta više,
- udio provodnika, koji su temeljem dijagnostičkih ispitivanja ocijenjeni kao nepouzdana, je 1,9 % opremljenih s mjernim priključkom, a 13,8 % bez mjernog priključka, odnosno oko sedam puta više,
- raspodjela zastupljenosti ocjene stanja provodnika temeljem dijagnostičkih ispitivanja $\tan \delta$ po godinama proizvodnje ukazuje na povećanu frekvenciju nalaza nepouzdan i neispravan nakon tridesetak godina pogona.

Navedeni podaci ukazuju na svrsishodnost prilagodbe provodnika bez mjernog priključka za ispitivanje. Taj je zahvat oko četiri puta jeftiniji od zamjene starih provodnika novim.

Prilikom odabira zamjenskog provodnika, često nije pouzdana ni natpisna pločica ni prateća tehnička dokumentacija, već je najsigurnije izvršiti snimanje dimenzija, što je najjednostavnije učiniti prilikom prilagodbe provodnika jer su tada oni već demontirani.

Prema navedenim iskustvima, preporučuje se izvršiti opisana prilagodba na preostalim provodnicima koji nemaju priključak za mjerenje.

LITERATURA

- [1] Knez N., Mikulecky A., Jaman N., Schönberger, M.: Dijagnostika VN provodnih izolatora bez mjernog priključka, Zbornik radova V savjetovanja HK CIGRE, Cavtat, 2001, Ref. 12.08.
- [2] Tehnička dokumentacija energetskih transformatora i proizvođača provodnih izolatora, arhiva Prijenosnog područja Osijek.
- [3] Mikulecky A., Knez N., Rožanković S.: Poboljšanje dijagnostike kondenzatorskih provodnika transformatora, Zbornik radova V savjetovanja HK CIGRE, Cavtat, 2001, Ref. 12.07.