

Dr. Jože Hrastnik, dipl. ing. el.
Izoelektro d.o.o., Limbuš

STANJE METAL OKSIDNIH ODVODNIKA PRENAPONA NA TEMELJU MJERENJA TEMPERATURE

SAŽETAK

Danas se u srednjenaponskim metal oksidnim odvodnicima prenapona prije svega koriste metal oksidni (MO) varistori sa izrazito nelinearnom karakteristikom. Loše svojstvo MO varistora je činjenica jer i u normalnom pogonu propuštaju određeni iznos minimalne struje. Nadalje, teško je utvrditi i njihovo stvarno stanje tijekom pogona.

Novost predstavljena u ovom članku je utvrđivanje stanja odvodnika prenapona pomoću mjerenja temperature. Time se utvrđuje da li su odvodnici prenapona još uvijek prikladni za pogon ili ih je potrebno zamijeniti. Navedeno se izvodi na način da se određuje utjecaj ohmske (radne) komponente struje (koja na odvodnicima prenapona stvara gubitke radne snage cijelo vrijeme, dok su priključeni na napon) na temperaturu MO varistora. U članku je također prikazano zagrijavanje odvodnika prenapona na površini MO varistora kao funkcija radne komponente struje pri temperaturi okoline 20 °C.

Ključne riječi: prenapon, odvodnik prenapona, (ohmska) radna struja, temperatura

STATE OF METAL OXIDE SURGE ARRESTERS ON THE BASIS OF MEASURING TEMPERATURE

ABSTRACT

Nowadays, metal oxide (MO) varistors with highly nonlinear characteristics are primarily used inside middle voltage metal oxide surge arresters. Poor property of MO varistor is shown even during normal operation as there is some minimum leakage current. Furthermore, it is difficult to determine their actual condition during their operation.

The novelty presented in this paper is an attempt to determine the state of the surge arrester using temperature measurements. In this way we determine whether the surge arrester is still suitable for the operation or it needs to be replaced. This is done in a way that determines the impact of resistive component of leakage current at the temperature of MO varistors. The article also shows the heating of the surge on the surface of MO varistor as a function of the resistive component of leakage current at the environmental temperature of 20 °C.

Key words: over voltage, surge arrester, resistive component of leakage current, temperature

1. UVOD

Danas se u metal oksidnim (MO) odvodnicima prenapona najviše upotrebljavaju MO varistori, koji imaju izrazito nelinearnu karakteristiku. Slaba strana MO varistora je također da tokom normalnog rada propuštaju određeni iznos minimalne struje [2]. Problem je i utvrditi njihovo stvarno stanje. Pojavljuje se pitanje da li je odvodnik prenapona još uvijek sposoban adekvatno štititi naprave ili ne? Različiti autori [1], [3], [4], [5] su na području odvodnika prenapona napravili konkretan broj studija, koje opisuju načine za određivanje funkcionalnosti odvodnika prenapona. Problem tih načina je da su ili previše skupi ili neupotrebljivi za određivanje funkcionalnosti tokom same operacije. Veliki broj istraživanja je također odrađen na području energijske apsorpcije i zagrijavanja odvodnika. Sva ta istraživanja se bave proučavanjem zagrijavanja odvodnika prenapona i analizom sposobnosti apsorpcije energije ili određivanjem neke predviđene životne dobe odvodnika prenapona [6].

Novost, koja je predstavljena u ovom članku je određivanje stanja odvodnika prenapona uz pomoć mjerenja njihove temperature – stanje odvodnika prenapona se odnosi na to da li su odvodnici prenapona i dalje primjereni za pogon ili ih je potrebno promijeniti. To smo izveli tako što smo pokušali utvrditi kakav je utjecaj radne komponente struje na temperaturi MO varistora, odnosno posredno MO odvodnika prenapona za znanu temperaturu okoline. U članku je prikazano zagrijavanje odvodnika prenapona na površini MO varistora u ovisnosti o radnoj komponenti struje kroz odvodnik, na temperaturi okoline 20 °C.

U drugom poglavlju je prikazano nekoliko općih karakteristika MO odvodnika prenapona. U trećem poglavlju je predstavljen 3D kompjutorski model i rezultati proračuna uz pomoć programskog alata Opera Vector Fields, koji temelji na metodi konačnih elemenata. U četvrtom poglavlju su prikazani rezultati izračuna toplinskog polja. U petom poglavlju je prikazana metoda po kojoj je moguće odrediti stanje odvodnika prenapona na osnovu mjerenja temperature. Na kraju je još ponuđen zaključak.

2. METAL OKSIDNI SREDNJENAPONSKI ODVODNICI PRENAPONA

2.1. Opće

Za osnovu prenaponskih odvodnika danas se koriste MO varistori. MO varistori imaju veliku prednost u odnosu na SiC varistore, koji su se kao prenaponski odvodnici koristili u prošlosti. Najvažnije prednosti MO varistora su:

- Niži zaštitni nivo
- Bolja sposobnost apsorpcije energije
- Mogućnost paralelnog spajanja
- Manje dimenzije.

Odvodnici prenapona se koriste na raznim mjestima u distribucijskoj mreži. Od toga ovise njihova opterećenja:

- Električna
- Termička, kao posljedica električnih izvora topline
- Termička, kao posljedica vanjskih izvora topline (sunce).

Osnovni zadatak MO odvodnika prenapona je:

- Zaštita od prenapona u pogonu
- Apsorbirati energiju tako da temperatura ne prelazi granične vrijednosti.

MO prenaponski odvodnici najčešće se ugrađuju na mjesta dalekovoda, gdje se mijenja otpor dalekovoda. Prema propisima ugrađuju se ispred postrojenja, odnosno važnih dijelova postrojenja (energetski transformatori, generatori itd.). Prenaponski odvodnik štiti naprave na određenoj udaljenosti od mjesta gdje je montiran.

2.2. Struktura MO odvodnika prenapona

MO odvodnici prenapona su u osnovi sastavljeni od određenog broja MO varistora. Prilikom konstrukcije odvodnika prenapona važno je dobro poznavanje nazivnih podataka za svaki varistor. Uzevši u obzir da je danas proizvodnja MO varistora dobro poznata, možemo slobodno kazati da su nazivni podaci izgrađenog odvodnika prenapona skup podataka za svaki varistor.

Električne karakteristike i kvaliteta MO odvodnika u velikoj mjeri ovisi o načinu spajanja varistora i mehaničke konstrukcije odvodnika. MO varistori mogu biti međusobno povezani na različite načine. Slika 1.a prikazuje konstrukciju sa tri šipke, koje povezuju varistore i tako osiguravaju dobre mehaničke karakteristike odvodnika prenapona. Slika 1.b prikazuje jednostavniju i jeftiniju konstrukciju, koja ne podnosi velika mehanička opterećenja.



Slika 1. Konstrukciji SN odvodnika prenapona

Cijela konstrukcija prikazana na slikama 1.a in 1.b zalijeva se silikonskom gumom, koja sprječava prodor vlage do MO varistora i služi za povećanje puzne staze.

3. 3D MODEL ODVODNIKA PRENAPONA

Za izračun distribucije jakosti električnog polja, gubitka i temperature, korišten je kompjuterski program, koji se temelji na metodi konačnih elemenata. Metoda konačnih elemenata (MKE) [13] spada u moderne numeričke metode za analizu, a zasnovana je na t. i. fizičkoj diskretizaciji kontinuuma – problema.

3.1. Predstavljen model izračuna

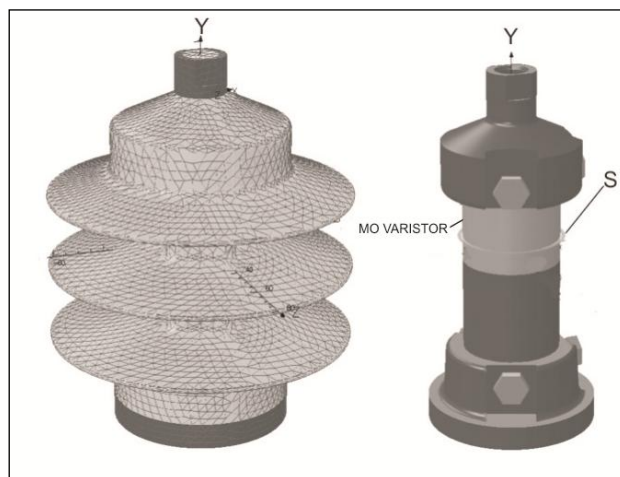
Izveli smo tri izračuna toplinskog polja za različite vrijednosti radne komponente struje. Toplinsko polje računato je iz strujnog polja. Kako bi izračunali toplinsko polje, prvo je izračunato strujno polje.

Tablica I: Podaci o materijalu i izračunu strujnog polja

Materijal	Relativna dielektričnost ϵ_r	Električna vodljivost γ (S/m)
Aluminij	1	3.78E+07
Epoksid	3.5	0
Silikon	2.7	0
Inox	1	1.0E+07
MO Model 1	752	3.35E-06
MO Model 2	752	5.58E-06
MO Model 3	752	1.07E-05

U modelima se električne vodljivosti razlikuju zbog nelinearne naponsko - strujne $U-I$ karakteristike MO varistora i različito izabranih trajnih napona u pogonu. Električne vodljivosti za varistore i relativna dielektričnost su izračunate na osnovu $U-I$ karakteristike.

Slika 2. prikazuje diskretiziran model odvodnika prenapona in položaj izračuna radne komponente struje.



Slika 2. Model odvodnika prenapona: levo) diskretiziran model, desno) položaj izračuna radne komponente struje.

Radna komponenta struje I izračunata je prema formuli (1):

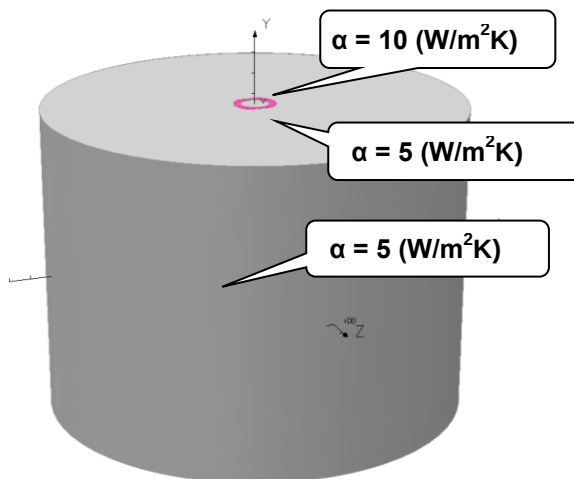
$$I = \int_S J \cdot dS \quad (1)$$

Gdje je J gustoća strujnog toka na cijelom presjeku varistora S .

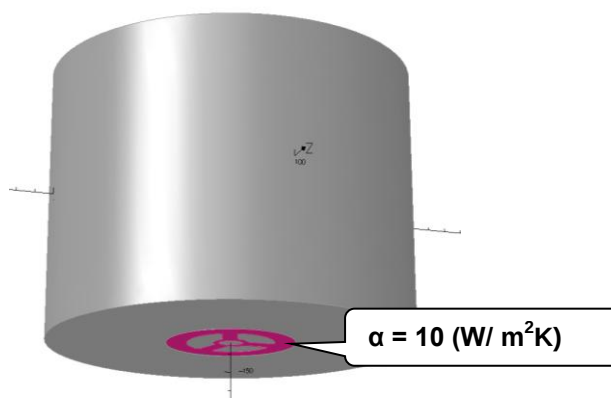
Tablica II. Vrijednosti toplinske vodljivosti iskorištene kod izračuna toplinskog polja

Materijal	Toplinska vodljivost λ W/mK)
Aluminij	205
Epoksid	0.3
Silikon	0.2
Inox	14
MO	8.0
Zrak	0.024

Na slikama 3. i 4. prikazane su u izračunu korištene vrijednosti toplinskih koeficijenta prijenosa na granicama prikazanog područja:



Slika 3. Korišteni granični uvjeti za izračun toplinskog polja



Slika 4. Korišteni granični uvjeti kod izračuna toplinskog polja

4. REZULTATI IZRAČUNA TOPLINSKOG POLJA

Toplinsko polje je računato za tri različite vrijednosti radne komponente struje, kao što je prikazano na slici 2.b.

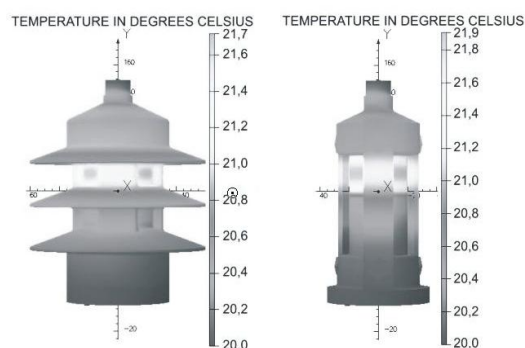
4.1. Rezultati izračuna radne komponente struje

Model 1 – $I_R = 0.67\text{E-}03 \text{ A}$

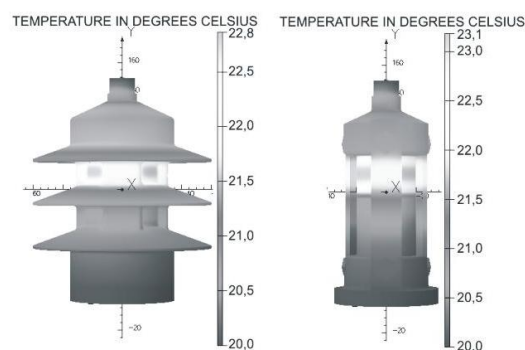
Model 2 – $I_R = 1.12\text{E-}03 \text{ A}$

Model 3 – $I_R = 2.24\text{E-}03 \text{ A}$

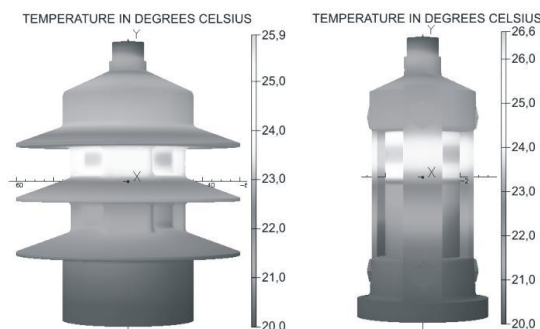
4.2. Rezultati izračuna toplinskog polja



Slika. 5: Distribucija temperature na površini silikonskog sloja i pod njim kada je vrijednost radne komponente struje 0,67 mA kroz odvodnik prenapona



Slika 6. Distribucija temperature na površini silikonskog sloja i pod njim kada je vrijednost radne komponente struje 1,12 mA kroz odvodnik prenapona



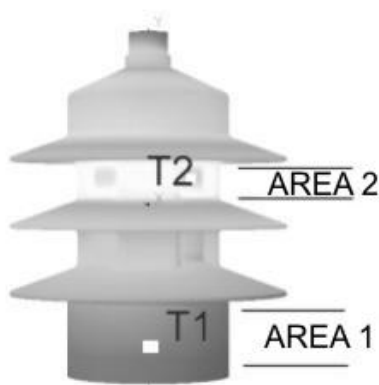
Slika 7. Distribucija temperature na površini silikonskog sloja i pod njim kada je vrijednost radne komponente struje 2,24 mA kroz odvodnik prenapona

Prema slici 5., površina odvodnika zagrijala se za 1,7 °C, površina MO varistora zagrijala se za 1,9 °C kod radne komponente strujnog toka jačine 0,67 mA. Prema slici 6., kod 1,12 mA radne komponente, površina odvodnika zagrijala se za 2,8 °C, a površina MO varistora za 23,1°C. Prema slici 7., površina odvodnika zagrijala se za 5,9 °C, a površina MO varistora za 6,6 °C kod radne komponente struje od 2,24 mA. Zagrijavanje nije značajno ali je dovoljno da se prepozna razlika u temperaturi između određenih dijelova, koji su praktično na temperaturi okoline i dijelova gdje je ugrađen varistor.

5. METODA ZA UTVRĐIVANJE STANJA MO ODVODNIKA PRENAPONA

U skladu sa standardom IEC 60099-5 [2], MO odvodnike prenapona potrebno je zamijeniti kada radna komponenta struje prijeđe 0,6mA. Ako želimo na osnovu mjerenja temperature utvrditi kakva je radna komponenta struje, moramo odrediti relaciju između razlike u temperaturi dva područja odvodnika prenapona i radne komponente struje.

Kako bi mogli utvrditi stanje MO odvodnika prenapona moramo izmjeriti, kakva je razlika u temperaturi dva područja na odvodniku prenapona. Na slici 8. prikazane su točke T1 i T2 i područja 1 i 2.



Slika 8. Prikaz područja između kojih je mjerena razlika u temperaturi

Iz rezultata distribucije temperature vidi se da točna lokacija gdje je mjerena temperatura i nije tako bitna. Područja, koja su prikazana na slici 8. prikazuju približno mjesto mjerenja temperature. Činjenica je da je temperatura MO odvodnika prenapona na području 1 praktično jednaka temperaturi okoline. To znači da je prvo referentno područje negdje do visine prvog šešira. Drugo referentno područje je na mjestu gdje su MO varistori ugrađeni u MO odvodnik prenapona.

Tablica III. prikazuje kakva je radna komponenta struje u ovisnosti o razlici temperature između područja 1 i područja 2. Tablica je dana za tri različite vrijednosti radne komponente struje, na temelju laboratorijskih mjerenja zagrijavanja MO odvodnika prenapona u ovisnosti o radnoj komponenti struje (laboratorijska mjerenja zbog svoje opširnosti nisu predstavljena u ovom članku) i na osnovu teoretskih izračuna, a uz pomoć kompjutorskog 3D modela.

Tablica III. Relacija između razlike u temperaturi i radne komponente struje.

Razlika u temperaturi područja 1 in 2. $\Delta T = T_2 - T_1$ (°C)	Ohmska komponenta struje kroz MO odvodnik prenapona I_R (mA)
1,8	0,6
2,5	1,1
6,0	2,2

Tablica III. nam pomaže utvrditi stanje MO odvodnika prenapona na osnovu mjerene temperature.

Metoda nije primjerena u sljedećim pogonskim uvjetima MO odvodnika prenapona:

- jakog vjetra,
- izravnog utjecaja sunca,
- snijega na odvodnicima prenapona,
- pojave prenapona u mreži.

6. ZAKLJUČAK

Svako pogoršanje $U-I$ karakteristika MO odvodnika prenapona ima za posljedicu povećanje radne komponente struje, odnosno povećanje gubitaka.

Namjena ovog članka je prikazati razvoj metode kojom se može utvrditi stanje MO odvodnika prenapona – to znači razviti metodu kojom možemo samo na osnovu mjerenja temperature različitih područja odvodnika prenapona utvrditi da li je potrebno ugrađeni MO odvodnik prenapona zamijeniti ili ne.

Metoda je primjerena samo za odvodnike prenapona koji imaju u referatu opisanu konstrukciju. Na temelju istraživanja može se zaključiti da se metodom mjerenja i numeričkih izračuna može na jednak način, kao što je prikazano u referatu, doći do primjerene metode za druge tipove srednjenaponskih odvodnika prenapona.

LITERATURA

- [1] St-Jean, Petit A., "Metal-oxide surge arrester operating limits defined by a temperature-margin concept", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 5, No. 2, April 1990.
- [2] IEC 60099-5-am 1, "Amendment 1 – Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations – Section 1: General" Ed. 1.0, 1999-10.
- [3] V. Heinrichen, G. Scholl, M. Schubert, T. Ostertag, "Online monitoring of high-voltage metal-oxide surge arresters by wireless passive surface acoustic wave (SAW) temperature sensors", IEEE conference publication, Vol 2, No. 467, 1999.
- [4] T. V. Ferreira, G. E. Da Costa, G. G. M. Neri, T. W. E. Neto, "Application of an optical temperature measurement system on ZnO surge arresters experiments", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006.
- [5] T. Klein, W. Koehler, K. Feser, W. Schmidt, R. Bebensee, "New monitoring system for metal oxide surge arresters", IEEE Conference publication, Vol. 2, n 467, 1999.
- [6] F. R. Stockum, "Simulation of the jnonlinear thermal bahavior of metal oxide surge arrester using a hybrid finite difference and empirical model", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol 9, No. 1 1994.