

MEDOVOJNI STIKI NA TRANSFORMATORJIH IN ZAŠČITA

Boštjan POLAJŽER, Martin PETRUN, Renato PULKO, Bojan GRČAR

POVZETEK

V prispevku so obravnavani medovojni stiki enofaznih in trifaznih transformatorjev. Podani so rezultati meritev laboratorijskega transformatorja ob nastopu in širjenju medovojnega stika. Dobljeni rezultati se v celoti skladajo z navedbami iz literature. Opisan je tudi kriterij medovojne zaščite trifaznih transformatorjev, ki temelji na negativnem zaporedju diferenčnih tokov. Rezultati preliminarne preizkusov obravnavane medovojne zaščite so zelo obetavni.

ABSTRACT

This paper describes turn-to-turn short circuits on single and three-phase transformers. Measurement results are given for the developing turn-to-turn fault on a laboratory transformer. The obtained results are in complete agreement with the findings from the literature. Furthermore, criterion for a turn-to-turn three-phase transformer protection is described, which is based on a negative-sequence component of differential currents. The preliminary testing results of the discussed turn-to-turn protection are promising.

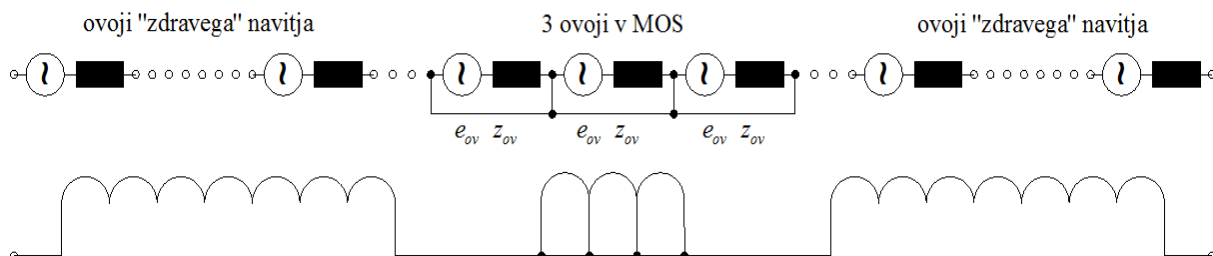
1. UVOD

Medovojni stiki (MOS) v navitju transformatorja so pojav, kjer zaradi slabšanja izolacijske trdnosti izolacije pride do električne povezave med sosednjimi ovoji preko obloka. Do preboja pride zaradi različnih vzrokov, ki so lahko zunanji (prenapetosti, preobremenitve, kratki stiki v omrežju,...) ali pa notranji (poškodbe v izolaciji, staranje izolacije, izpad hlajenja,...). Zaradi električne povezave dveh sosednjih ovojev pride do lokalno velikih elektromagnetnih sprememb, ki jih spremlja velik kratkostični tok. Spremembe faznih napetosti in tokov pa so v začetni stopnji okvare minimalne, kar otežuje pravočasno detekcijo s konvencionalnimi zaščitami. Šele ko MOS zajame večje število ovojev, odreagirajo primarne zaščite, Bouholz-ova ali diferenčna [1], vendar pred tem že pride do znatnega uničenja navitij [2]. V prispevku je na osnovi eksperimentalnih rezultatov podana poenostavljena fizikalna razlaga ob nastopu MOS in razložene so osnovne medsebojne zveze med vplivnimi veličinami.

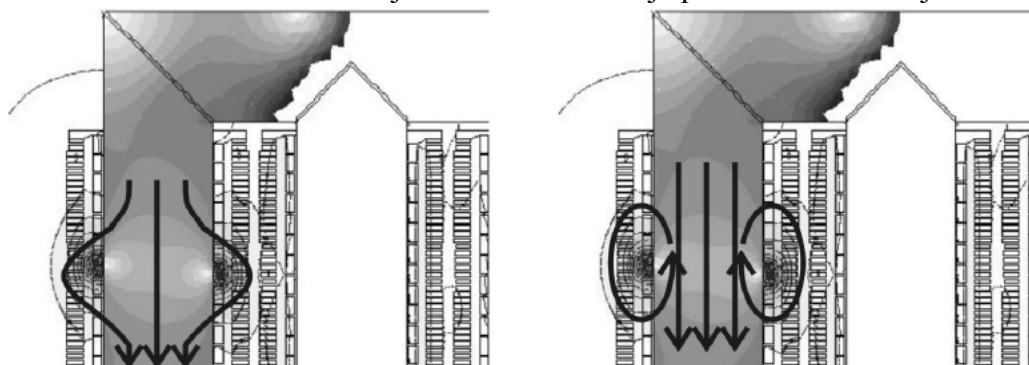
2. KARAKTERISTIKE MEDOVOJNIH STIKOV

Vezava navitij in nadomestno vezje v primeru MOS na navitju transformatorja sta prikazana na sliki 1. Linijski tok teče mimo kratko sklenjenih ovojev, torej čez mesto MOS. V primeru širjenja MOS na sosednje ovoje impedanca navitja pada, zaradi česar linijski tok narašča. Posamezne kratko sklenjene ovoje obravnavamo električno ločeno od preostalega dela navitja. Vsak kratko sklenjen ovoj predstavimo z enostavnim nadomestnim vezjem (slika 1) z enim izvorom, to je ovojna inducirana napetost, ki v zanki z relativno majhno impedanco požene zelo velik tok. Zaradi velikih tokov okvare obravnavani ovoji v magnetnem krogu prispevajo bistveno večji delež magnetnih napetosti od ovojev preostalega dela navitja. Tako se v primeru širjenja MOS na sosednje ovoje magnetne napetosti posameznih kratko sklenjenih ovojev znižujejo. Pri širjenju okvare na sosednje ovoje je torej značilno, da tok v posameznem kratko sklenjenem ovojju pada, medtem ko linijski tok narašča [1].

Magnetne razmere pri MOS so prikazane na sliki 2, ki je povzeta iz [3]. Leva slika prikazuje magnetni sklep celotnega navitja, desna slika pa ločeno prikazuje magnetni sklep "zdravega" dela navitja in magnetni sklep kratko sklenjenega ovoja. Ker tok v kratko sklenjen ovojju povzroča magnetno polje v nasprotni smeri glavnega polja, se gostota magnetnega pretoka v železnem jedru lokalno zelo zmanjša (svetlejši barvni odtenki). Zaradi tega so karakteristike MOS nelinearne.



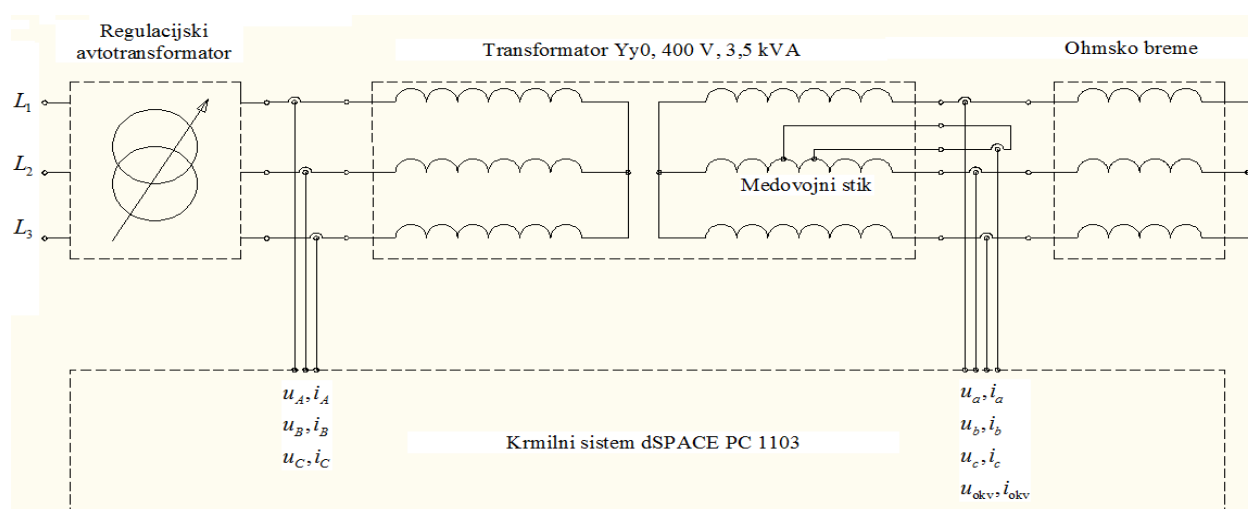
Sl. 1: Vezava navitij in nadomestno vezje pri MOS za tri ovoje



Sl. 2: Magnetne razmere ob nastopu MOS: skupni magnetni sklep navitja (leva slika) in magnetni sklep ovojev v MOS in "zdravih" ovojev (desna slika) [3]

2.1 Eksperimentalni sistem

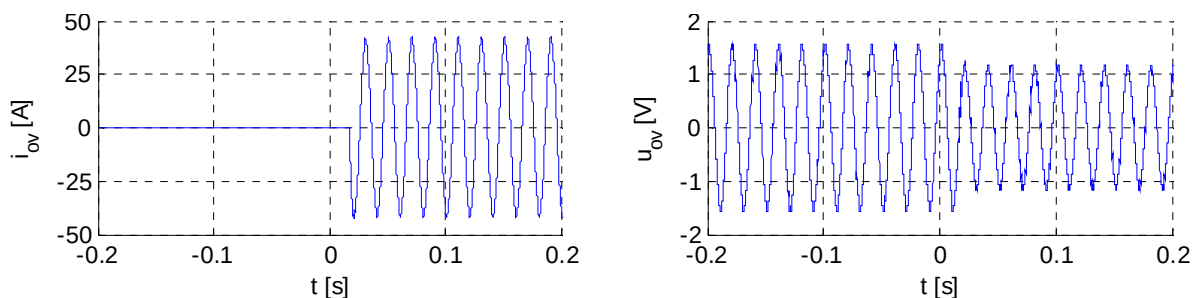
Meritve so bile opravljene na laboratorijskem tritebnem trifaznem transformatorju nazivne napetosti 400 V in moči 3,5 kVA. Število obojev primarnega navitja je 278 in je enako številu obojev sekundarnega navitja. Eksperimentalni sistem je prikazan na sliki 3. Izvedli smo enofazne meritve na sredinskem stebru transformatorja in trifazne meritve, pri čemer smo kratko sklenili do največ 3 oboje.



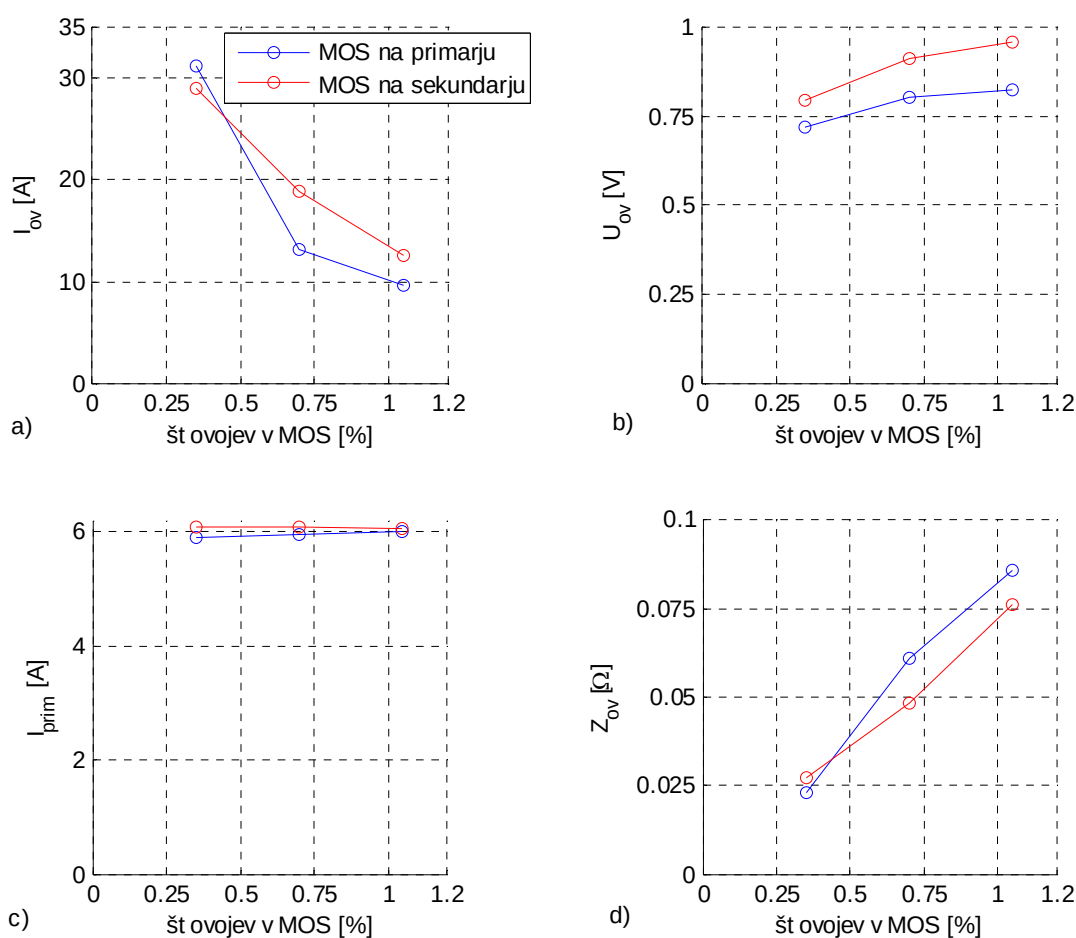
Sl. 3: Eksperimentalni sistem – MOS na transformatorju

2.2 Rezultati meritev

Slika 4 prikazuje izmerjena časovna odziva toka in napetosti v kratko sklenjenem oboju. Iz dobljenih odzivov je razvidno, da je tok okvare zelo velik (približno šestkratnik nazivnega toka), obojna inducirana napetost pa ob nastanku MOS nekoliko pade. Na sliki 5 so prikazane izmerjene karakteristike MOS. Med preizkusi je bil transformator nazivno obremenjen, MOS pa smo generirali na primarju in na sekundarju in sicer na 1, 2 in 3 obojih. Kljub temu, da smo opravili meritve za največ 3 kratko sklenjene oboje, kar znaša le 1,1% delež navitja, je iz slik 5a in c razvidno, da s širjenjem MOS vrednost toka okvare izrazito pada, medtem ko je v primarnem toku opazna rahla tendenca naraščanja. Ker tok v posameznem kratko sklenjenem oboju s širjenjem MOS pada, seveda obojna impedanca narašča (slika 5d). Impedanca se dodatno poveča tudi zaradi segrevanja navitja. Iz slike 5b so opazne tudi spremembe obojne inducirane napetosti pri širjenju MOS. Velja tudi omeniti, da so izmerjeni toki in napetosti v vseh kratko sklenjenih obojih približno enaki, zato lahko sklepamo, da se vsem kratko sklenjenim obojem impedanca spremeni zelo podobno.



Sl. 4: Časovni odziv toka okvare in inducirane ovojne napetosti pri MOS transformatorja

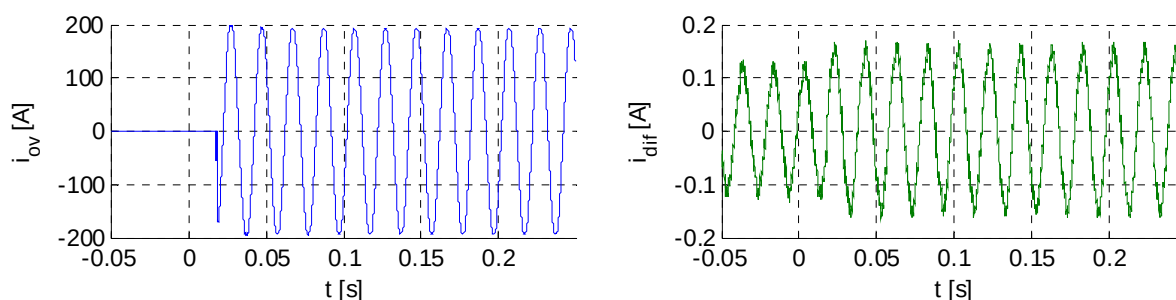


Sl. 5: Izmerjene karakteristike MOS enofaznega transformatorja

3. KRITERIJ MEDOVOJNE ZAŠČITE TRIFAZNIH TRANSFORMATORJEV

Kot smo že uvodoma omenili, konvencionalne transformatorske zaščite MOS zaznajo šele, ko je uničen že dobršen delež navitja. Razlog je seveda preprost, saj so pri zgodnji fazi

razvijajočega MOS spremembe v napetostih in tokih na sponkah transformatorja praktično nemerljive. Na sliki 6 sta prikazana tok okvare in diferenčni tok za primer MOS na 1 ovoju v drugi fazi, torej na sredinskem stebru. Obravnavani transformator vezave Yy0 je bil med preizkusom nazivno obremenjen (5 A). Iz dobljenih časovnih potekov je razvidno, da je tok v kratko sklenjenem ovoju zelo velik (140 A), medtem ko se pri MOS amplituda diferenčnega toka skoraj ne spremeni, oziroma je posledica nesimetrij in merilnih pogreškov.

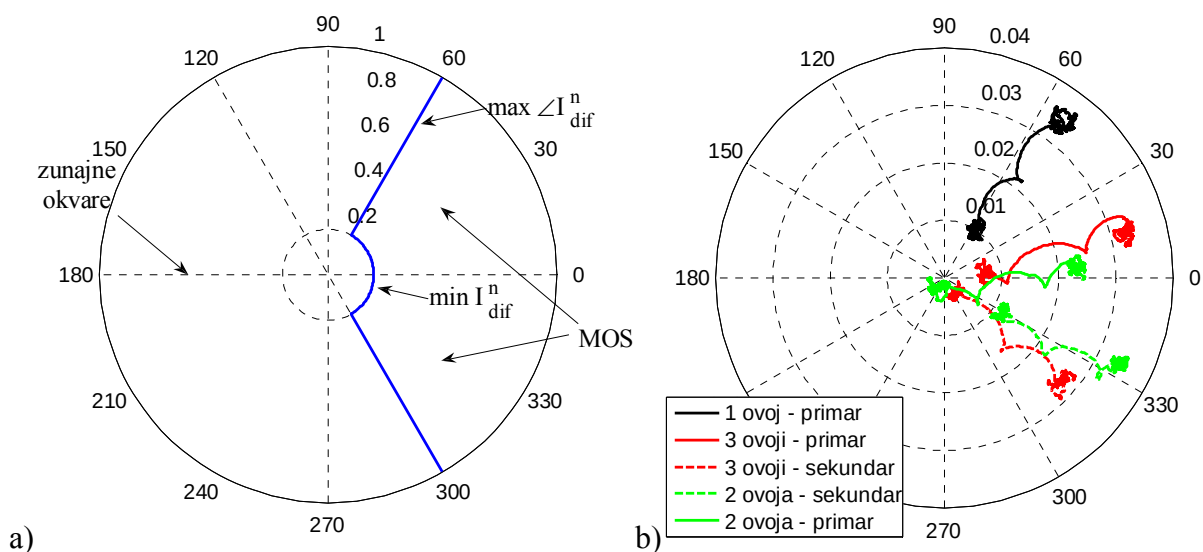


Sl. 6: Časovni potek toka okvare in diferenčnega toka pri MOS trifaznega transformatorja

V [2] je predlagan preprost kriterij medovojne zaščite trifaznih transformatorjev, ki temelji na negativnem zaporedju diferenčnega toka. Pri okvarah na transformatorju teče tok negativnega zaporedja iz transformatorja in sicer iz primarne in iz sekundarne strani. Zaradi tega je faza diferenčnega toka negativnega zaporedja enaka nič. Kriterij upošteva vplive nesimetrij in pogreškov, zato je fazni del kriterija razširjen na $\pm 60^\circ$, amplitudna omejitev pa znaša okrog 5% nazivnega toka. Opisani kriterij medovojne zaščite je prikazan na sliki 7a. Na sliki 7b so prikazane trajektorije diferenčnega toka negativnega zaporedja med MOS. Prikazani so rezultati za MOS na 1, 2 in 3 ovajih primarnega in sekundarnega navitja. Iz dobljenih preliminarne rezultatov opazimo, da so sprememba amplitud relativno majhne, vendar so opazne znatne spremembe faze oz. kota diferenčnega toka negativnega zaporedja.

4. SKLEP

V prispevku so obravnavani medovojni stiki na transformatorjih. Iz prikazanih rezultatov meritev je očitno, da so toki okvare pri medovojnih stikih zelo veliki, pri tem pa so spremembe v linijskih tokih zanemarljive. Izkaže se tudi, da v primeru širjenja okvare na sosednje ovoje tok v posameznem kratko sklenjenem ovoju pada, medtem ko linijski tok narašča. Preliminarno smo tudi preizkusili kriterij medovojne zaščite trifaznih transformatorjev, ki temelji na spremembi diferenčnega toka negativnega zaporedja. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da so za zanesljivo detekcijo MOS spremembe v amplitudah tokov premajhne, opazne pa so značilne spremembe kota diferenčnega toka negativnega zaporedja.



Sl. 7: Kriterij medovojne zaščite trifaznih transformatorjev(a) in trajektorije diferenčnega toka negativnega zaporedja pri MOS trifaznega transformatorja (b)

5. VIRI, LITERATURA

- [1] H. Hubensteiner, *Schutztechnik in elektrischen Netzen 1*, VDE Verlag, Berlin, Offenbach, 1993.
- [2] Z. Gajić, I. Brnčić, B. Hillström. *Sensitive turn-to-turn fault protection for power transformers*. Study Committee B5 Colloquium, September 2005.
- [3] G. D. González, J. G. Fernández and P. A. Arboleya, *Electromagnetic model of turn-to-turn short circuits in transformers*, Compel, May 2003.

NASLOVI AVTORJEV

doc. dr. Boštjan Polajžer
Martin Petrun,
Renato Pulko in
prof. dr. Bojan Grčar.

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 70 76

Fax: + 386 2 220 72 72

Elektronska pošta: bostjan.polajzer@uni-mb.si