

Univerzalna koordinacija prenapetostne zaščite za učinkovito zaščito energetskih omrežij

Vladimir Murko¹, Nermin Suljanović², Aljo Mujčić², Jurij F. Tasić³

¹Iskra Zaščite Ljubljana

²Fakultet Elektrotehnike Univerzитета u Tuzli

³Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani

E-pošta: nermin.suljanovic@untz.ba

Povzetek: Članek predstavi načela učinkovite koordinacije prve in druge stopnje prenapetostne zaščite za standardne preskusne impulze. Predstavljeni so rezultati različnih laboratorijskih poskusov za določitev vpliva zaščitnih komponent, vgrajenih v SPD, kot tudi topologije SPD. V članku so predstavljeni rezultati meritev, na podlagi katerih je potrjen vpliv oblike testnih impulzov. Laboratorijske meritve so potrdile teoretične obravnave.

Ključne besede: prenapetostna zaščita, naprave za prenapetostno zaščito, koordinacija prenapetostne zaščite, metaloksidni varistorji

Universal SPD coordination towards an effective surge protection of power supply networks

The paper describes the principles of effective surge-protection devices (SPDs) coordination for both standard test impulses. Since the SPD coordination is strongly affected by the overvoltage protection components and SPD topology, laboratory measurements for different SPD types and topologies were conducted. Obtained results are given in the paper. The impact of the test surge impulse shape is recognized as important.

1 UVOD

Oprema nameščena v gospodinjstvih, poslovnih stavbah ali tovarnah, je občutljiva na prenapetostne impulze, ki so posledica atmosferskih razelektritev ali sprostitve energije, nakopičene v energetskem omrežju (kot so preklopi naprav ali sprožitve varovalke). Zaradi občutljivosti elektronskih naprav na atmosferske in stikalne prenapetosti zahteva načrtovanje prenapetostne zaščite posebno skrb [1].

Če prenapetostna zaščita ni obravnavana pravilno, se zaščiteni aparati in naprave lahko uničijo. Prenapetostna zaščita, ki varuje aparate in naprave pred atmosferskimi in stikalnimi prenapetostmi, zahteva realizacijo v vsaj dveh stopnjah, ker energetska obremenitev prenapetostnih odvodnikov (SPD) pomeni tudi večjo preostalo napetost in višji zaščitni razred.

Za učinkovit sistem celotne prenapetostne zaščite je nujno usklajevanje med zaščitnimi stopnjami. Usklajevanje se izvaja tako, da vsaka stopnja uspešno izvaja svojo primarno nalogo. Prva stopnja odvaja veliko prehodno energijo v ozemljitev, medtem ko druga stopnja zmanjšuje preostalo napetost in jo privede na prag, ki ga aparat ali naprava lahko prenese.

V soglasju z razvrstitvijo, podano v standardu IEC 61643-1, so prenapetostni odvodniki nameščeni na vhodu v zgradbo za zaščito pred direktnim udarom strele (odvajanje večjih energetskih vsebin), označeni kot klasa I ter se preizkušajo z impulznim tokom oblike 10/350 μ s in amplitude 100 kA [2]. Prenapetostni odvodniki, namenjeni zaščiti naprav pred indirektnim vplivom strele, pripadajo razredu II. Omenjeni odvodniki se preizkušajo z impulznim tokom oblike 8/20 μ s z amplitudo 20 kA.

Standard ANSI/IEEE zahteva preizkušanje prenapetostnih odvodnikov z impulznim tokom oblike 8/20 μ s amplitude 100 kA [3]. Ti standardi določajo različne simulacijske/preizkusne impulze za preizkušanje prenapetostnih naprav, ki se uporabljajo za zaščito stavbe ali hiše pred direktnim udarom strele.

Odvajanje velikih energetskih vsebin pri direktnem udaru strele je problem prevelikega zaščitnega napetostnega nivoja oziroma preostale napetosti na odvodniku, vgrajenem v razdelilni energetski omarici na vhodu v zgradbo. Rešitev problema je uvedba druge stopnje zaščite, ki temelji na prenapetostnem odvodniku z manjšo tokovno odvodno sposobnostjo in veliko nižjo preostalo napetostjo v primerjavi z odvodnikom na prvi stopnji.

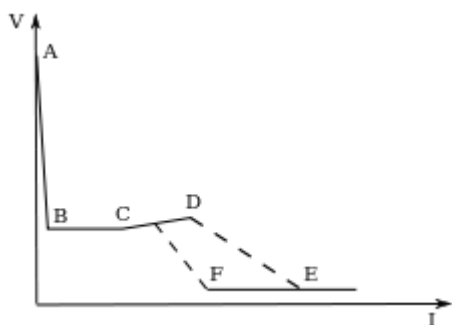
Usklajevanje naprav prenapetostne zaščite na prvi in drugi stopnji zahteva ločilno impedanco, ki zagotovi določen padec napetosti med stopnjami in prepreči, da bi druga stopnja prevzela večino udarnega impulznega toka.

2 ZAŠČITNI ELEMENTI V PRENAPETOSTNIH ZAŠČITNIH NAPRAVAH

Najpogosteje uporabljena zaščitna elementa sta plinski odvodnik (PO), polnjen z žlahtnim plinom, in metaloksidni varistor (MOV). V naslednjem poglavju so predstavljene glavne prednosti in slabosti posameznih elementov.

2.1 Plinski odvodniki

Plinski odvodnik je po navadi sestavljen iz dveh ali treh elektrod v steklu ali keramiki, napolnjeni z žlahtnim plinom (neon ali argon). Elektrode so poravnane z majhno režo med njimi. Tipična karakteristika V-I za plinski odvodnik je podana na sliki 1 [1].



Slika 1: Običajna karakteristika V-I plinskega odvodnika

Ko je napetost na elektrodah plinskega odvodnika nižja od vžigalne napetosti (enosmerna napetost, pri kateri nastopa vžig), je tok skozi odvodnik približno nič. V točki A plinski odvodnik preklonja iz visokoohmskega v nizkoohmsko stanje. Ko je vrednost vžigalne napetosti presežena, se napetost na plinskem odvodniku v trenutku zniža z nastankom negativne upornosti dV/dI . Odsek krivulje med točkama B in D (slika 1) je tako imenovano območje prevajanja. Ta del lahko razdelimo na dva segmenta. V prvem delu (BC) je napetost na PO približno neodvisna od toka in se imenuje tudi normalno območje prevajanja. Za drugo območje (CD) pa je značilna pozitivna upornost dV/dI .

S povečanjem toka (DE) se napetost na PO znižuje na vrednost, ki se imenuje napetost loka, in ostane, dokler obstaja sledilni tok prenapetostnega impulza. Odvodnik obdrži prevodno stanje, dokler sledilni tok ne pade pod vrednost minimalnega toka loka.

Ko je prenapetostni impulz končan, se tok znižuje na vrednost toka za ugasnitev loka. Pri tej vrednosti (točka F) je lok ugasnjen in zamenjan s plazmo [1].

2.2 Metaloksidni varistorji

Metaloksidni varistorji so narejeni iz keramičnega materiala, pridobljenega iz mešanice ZnO in z majhno količino aditivov. Granule ZnO imajo majhen upor in so obkrožene z zrnatim slojem aditiva, ki ima velik upor. Takšna struktura se obnaša podobno kot večje število medseboj zaporedno/vzporedno povezanih diod, ki

zagotavljajo nelinearno obnašanje varistorja. Nelinearna V-I karakteristika varistorja se lahko razdeli na tri odseke[4]:

1. Območje nizke jakosti električnega polja
Na varistorju je nizka napetost, diode so zaprte in varistor se obnaša kot izolator.

2. Območje srednje jakosti električnega polja
V tem območju tok strmo raste, ko jakost električnega polja doseže vrednost nad 100 kV/mm. Tok se spreminja v intervalu od 1 mA do 1 kA.

3. Območje velike jakosti električnega polja
Padec napetosti na varistorju je linearna funkcija toka in je določena z napetostjo na granulah ZnO, hkrati pa se padec napetosti na barieri lahko zanemari zaradi tunelskega efekta. Rezultat je linearna karakteristika V-I.

Rezultati meritev preostalih napetosti na varistorjih, dosegljivih v literaturi, potrjujejo dinamično naravo varistorja, ker je preostala napetost na MOV odvisna od oblike in strmine tokovnega impulza [5]. Z drugimi besedami, preostala napetost na varistorju narašča, ko se čas poteka njegove strmine zmanjšuje. Druga dinamična lastnost MOV je, da njegova preostala napetost dosega svoj maksimum pred maksimumom toka.

2.3 Primerjava PO in MOV

Da bi zadovoljili zahteve v skladu s standardi IEC / ANSI, so v članku predlagane različne rešitve prenapetostne zaščite.

Nekateri izdelovalci dajejo prednost uporabi PO na prvi stopnji zaradi velike odvodne zmogljivosti prenapetostnih valov v zemljo. Žal obstajajo nekatere slabosti plinskih odvodnikov, kot so zahteva po gašenju loka, težave z gašenjem omrežnih tokov, delovanje varovalk itd. Uporaba PO na prvi stopnji zahteva tudi obvezno vgradnjo koncentrirane induktivnosti za vžig, ki se lahko uporablja tudi kot ločilna induktivnost med prvo in drugo stopnjo. Druga stopnja pogosto temelji na uporabi MOV.

MOV je upor z nelinearno karakteristiko. Njegovo delovanje ne povzroča kratkih stikov v energetskem omrežju, tako kot pri uporabi PO. MOV se na prvi stopnji notranje prenapetostne zaščite določene strukture ne uporablja pogosto, ker prevladuje mnenje, da MOV nima odvodne zmogljivosti direktne atmosfere razelektivitve.

3 PREIZKUSNI IMPULZI: ZAHTEVE PRI PRENAPETOSTNIH ZAŠČITNIH NAPRAVAH

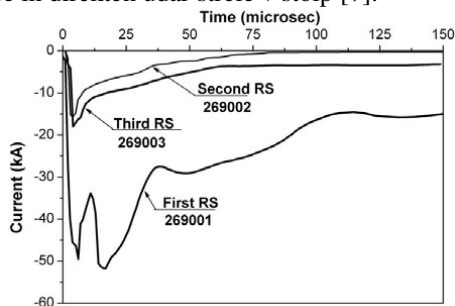
Usklajevanje stopenj prenapetostne zaščite je zelo občutljivo glede izbire oblike preizkusnega tokovnega impulza zaradi ločilne induktivnosti. Medtem ko sta strmini impulzov 8/20 μ s in 10/350 μ s podobni, obstaja razlika na hrbtih karakteristik teh dveh impulzov in naboju, ki ju vsebujeta. Oblika impulza močno vpliva na razdelitev toka/energije med stopnjami zaščite zaradi padca napetosti na ločilni induktivnosti.

Dokumenti obeh standardizacijskih teles IEC in ANSI/IEEE do leta 1995 predlagajo preizkušnje prenapetostnih zaščitnih naprav na tokovni impulz 8/20 μ s. IEC v svojem standardu 61643-1 uvaja razrede prenapetostnih zaščitnih naprav (SPD) in zahteva, da se SPD v razredu I preizkusijo na impulz 10/350 μ s, katerega parametri ustrezajo lastnostim direktnega udara strele [2, 6, 7]. Glavna naloga predstavljenih raziskav je razviti SPD z lastnostmi, ki ustrezajo zahtevam IEC in IEEE.

Prav tako je problem spremenljivo obnašanje SPD pri sprožanju različnih preizkusnih tokovnih impulzov 8/20 μ s in 10/350 μ s. Časovni potek impulza 10/350 μ s je občutno daljši, ker impulz vsebuje precej večjo prehodno energijo. V času strmine impulza sta si impulza podobna. Pri poteku hrbtov impulzov je gradient impulznega toka 10/350 μ s nizek in padec napetosti na ločilni induktivnosti majhen. Druga stopnja prenapetostne zaščite ima nižji napetostni nivo in prevzame pomembno količino prehodne energije. Torej mora biti SPD na drugi stopnji načrtovan za takšen scenarij. Pri tokovnem impulzu 8/20 μ s pa hrbet pride veliko hitreje in SPD na prvi stopnji prevzame glavni udar. Poleg tega je razdelitev udarnega toka strele med sosednimi zgradbami odvisna tudi od oblike tokovnega impulza zaradi induktivnosti spojnih kablov.

Kot je razvidno iz zgoraj navedenega, na projektiranje sistema prenapetostne zaščite vpliva izbira oblike tokovnega impulza. Oblike testnih impulzov so standardizirane in za zanesljivo delovanje SPD mora izpolnjevati zahteve za oba impulza.

Omenjeni standardi ne obravnavajo zaporednih udarov strele. V soglasju z IEC 61312-1 je udar strele sestavljen iz prvega udara (90% negativne polaritete in 10% pozitivne polaritete), povratnega udara negativne polaritete in udara dolgega trajanja, ki so lahko pozitivne ali negativne polaritete. Slika 2 prikazuje prve tri udare in direkten udar strele v stolp [7].



Slika 2: Prvi trije udari od petih negativnih povratnih udarov strele in direktnih atmosferskih razelektritev v stolp [7]

Oblika toka udara strele, ki sledi prvemu povratnemu udaru, ima veliko strmino in kratek čas trajanja. V skladu z IEC 61312-1 se ponovni povratni udari modelirajo z impulzom 0.25/100 μ s in nazivnim tokom 50 kA. Ko so SPD koordinirani v dveh stopnjah, načela koordinacije za impulz 10/350 μ s ne veljajo za

naslednje povratne udare (padec napetosti na ločilni induktivnosti je sorazmerna gradientu toka).

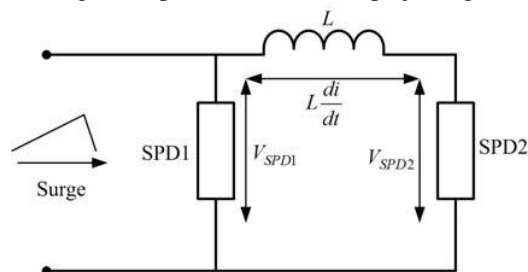
4 NAČELA KOORDINACIJE PRENAPETOSTNIH ZAŠČITNIH NAPRAV

Kot je navedeno zgoraj, morajo biti prenapetostne zaščitne naprave nameščene na energetskem vhodu v zgradbo dimenzionirane za odvajanje toka direktnega udara strele v zemljo. Zaradi velike energetske obremenitve ima takšen SPD visok napetostni zaščitni nivo, zato je nujna uporaba druge stopnje prenapetostne zaščite. SPD v drugi stopnji zaščite, razen primarne naloge zmanjšanja preostale napetosti, preprečuje impulzni tok v inštalaciji zgradbe in probleme z elektromagnetno kompatibilnostjo [8-10]. Koordinacija bo uspešna, če je celotna odvedena energija skozi obe stopnji SPD zaščite manjša ali enaka njihovi največji odvajalni moči brez poškodbe. Uspešna koordinacija pomeni, da SPD v drugi stopnji zaščite ni predimenzioniran.

SPD v dve stopnji prenapetostne zaščite sta ločena z induktorjem L (slika 3). Pomanjkanje ločilne impedance lahko povzroči preobremenitev drugega SPD zaradi nižjega napetostnega zaščitnega nivoja. Padec napetosti na prvem SPD je vsota padcev napetosti na ločilni impedanci in prvem SPD, in sicer

$$V_{SPD1} = L \frac{di}{dt} + V_{SPD2} \quad (1)$$

Za induktivnost L se lahko uporabi lastna induktivnost ožičenja. Če je lastna induktivnost ožičenja zadostna, se lahko koncentrirani induktivnosti izognemo. Koncentrirani induktivnosti damo prednost, če se želimo izogniti impulznemu toku v napeljavi zgradbe.



Slika 3: Dvostopenjska prenapetostna zaščita

Če je plinski odvodnik nameščen kot SPD na prvi stopnji, se zahteva namestitev induktivnosti L zaradi vžiga plinskega odvodnika.

Oglejmo si koordinacijo dvostopenjske prenapetostne zaščite na primeru tokovnega impulza 10/350 μ s, sproženega na vhodu vezja, podanega na sliki 3. Če je PO uporabljen kot SPD v prvi stopnji zaščite in ustrezna induktivnost zagotavlja vžig PO, PO zagotovi nizko impedanco za stik proti zemlji in majhen upor (ali tudi kratek stik v energetskem nizkonapetostnem omrežju). MOV se po navadi uporablja kot SPD na drugi stopnji. Nizka impedanca je značilna med potekom hrbta impulza z nizkim gradientom toka in induktivnostjo, ki pomeni majhno impedanco. Ker je energija shranjena v hrbtu impulza, uporaba PO zagotavlja, da SPD na drugi

stopnji ne bo preobremenjen. Kljub dobrim lastnostim PO izkazuje tudi slabosti. Po vžigu PO električnega loka ni mogoče ugasniti, dokler napetost industrijske frekvence 50 Hz ne gre skozi ničlo. Ta tok, imenovan tudi sledilni tok, se nadaljuje tudi, če impulzni tok izgine. Kratek stik v nizkonapetostnem omrežju je prisoten, dokler električni lok ne ugasne in povzroči, da se sproži varovalka tudi pri tokovnih impulzih z majhno amplitudo. Varovalka se ne bo sprožila pri uporabi MOV na prvi stopnji prenapetostne zaščite.

Kot primer bomo predstavili prenapetostno zaščito bazne postaje mobilne telefonije. Nadtokovna zaščita v takšnih zgradbah se izvaja z uporabo varovalke 35 A, ki lahko zdrži impulzni tok oblike 10/350 μ s in amplitude 6 kA brez poškodb [11]. PO v prvi stopnji prenapetostne zaščite pri toku udara strele amplitude 5 kA, vžge in povzroči kratek stik v nizkonapetostnem omrežju. Varovalka se odklopi in bazna postaja izpade iz obratovanja. Na drugi strani uporaba MOV na prvi stopnji zagotovi določeno napetost na SPD, tako imenovani zaščitni napetostni nivo pri odvajanju impulznega toka v zemljo in prepreči delovanje varovalke.

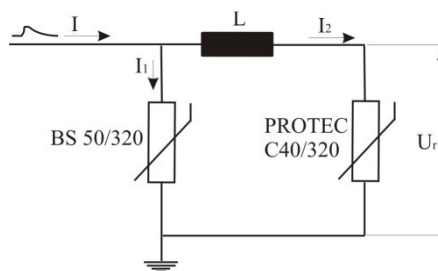
MOV z veliko odvodno sposobnostjo se lahko uporablja pri zaščiti pred direktnim udarom strele. Ko se na vhod sproži tokovni impulz 10/350, MOV na prvi stopnji ne bo povzročil kratkega stika, ampak bo obdržal nizko preklopno ali preostalo napetost, ki bo približno konstantna. Na drugi stopnji bo MOV prevzel velik del prenapetostnega vala od prenapetostne zaščite prve stopnje ob poteku hrbta impulza, če je preostala napetost druge stopnje nižja in padec napetosti na induktivnosti L nizek.

Po želji lahko SPD realiziramo kot serijsko povezavo MOV in PO. Problem sledilnega toka rešimo s kaskadno povezavo MOV in PO (z ustreznim nivojem zaščite). Po vžigu bo PO zagotovil nizko impedanco in manjši padec napetosti v prvi veji, kot če se uporabi samo MOV.

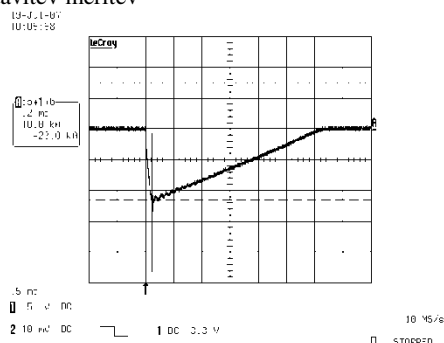
Smernice ANSI/IEEE predlagajo uporabo samo testnega impulza 8/20 μ s. Krajše trajanje impulza in večji gradient toka zahtevata manjšo odvodno zmogljivost MOV na drugi stopnji in nižjo vrednost induktivnosti L . In naprej, povratni udari, predstavljeni z impulzom 0.25/100 μ s, ustrezajo načelu koordinacije, ki se zahteva za impulz 8/20 μ s. Za izboljšanje koordinacije za impulse dolgega trajanja, Martzloff in Lai predlagata koordinacijo z MOV na prvi stopnji, ki ima nižjo preostalo napetost kot MOV v drugi fazi (uporabljen je impulz 10/1000 μ s) [9]. Problem je v tem, da ta koordinacija ni uspešna za impulz 8/20 μ s, kot so prikazali avtorji članka. Mansoor [10] predlaga alternativni koncept koordinacije med SPD, vgrajenim na energetske vode na vходу v stavbo z uporabljenim MOV za zaščito pri opremi (ali nameščenim v napravi). V tem primeru je MOV zaporedno povezan s PO in postavljen v glavni distribucijski omarici, pri čemer je preostala napetost MOV nižja od preostale napetosti drugih MOV v sistemu prenapetostne zaščite.

Ta pristop ustreza konceptu zaščite "NIZKO-VISOKO", predlaga ga Martzloff. Torej pristop ki omogoča univerzalno koordinacijo, vključuje uporabo zaporedne povezave MOV in GDT v prvem SPD.

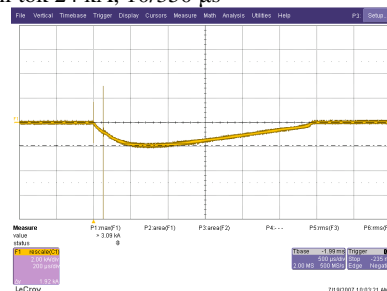
Zgornje ugotovitve so bile potrjene z laboratorijskimi meritvami, predstavljenimi v naslednjem poglavju. Odvodna zmogljivost MOV je bila potrjena, kot tudi možnost uspešne koordinacije MOV v dveh stopnjah pri uporabi impulza 10/350 μ s.



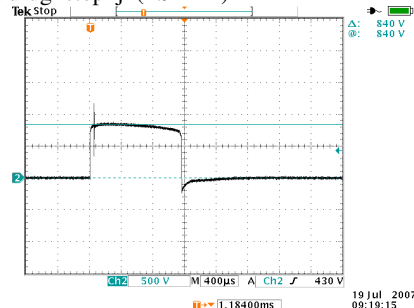
a) Nastavitev meritev



b) Impulzni tok 24 kA, 10/350 μ s



c) Tok na drugi stopnji (1.92 kA)



d) Merjeni impulzni tok in preostala napetost na drugi stopnji (10/350 μ s impulz)

Slika 4: Koordinacija MOV v dveh stopnjah

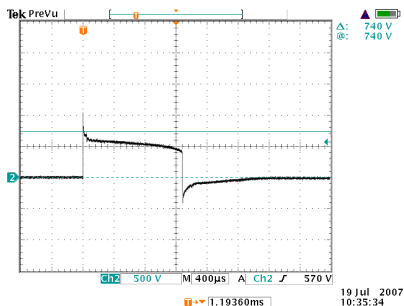
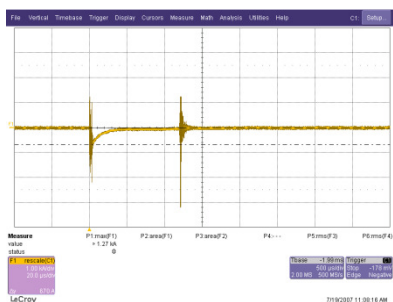
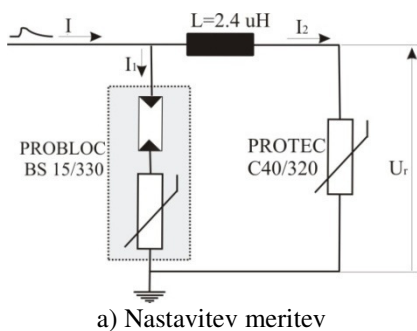
5 LABORATORIJSKE MERITVE

Za potrditev teoretičnih razlag, podanih v prispevku, so bile laboratorijske meritve za različne SPD elemente in topologije opravljene za oba preizkusna tokovna impulza 10/350 in 8/20 μ s. Prva merilna namestitev je „klasična“ koordinacija med dvema MOV, ločenima z induktivnostjo $L=6 \mu$ H (slika 4-a). Rezultati meritev za impulzni tok oblike 10/350 μ s in amplitudo 40 kA so podani na sliki 4-b. Preostala napetost je 840 V in tok skozi drugo stopnjo je pod 2 kA (slike 4-c in 4-d).

Naše laboratorijske meritve so pokazale, da druga stopnja ne prevzame glavnega dela udara.

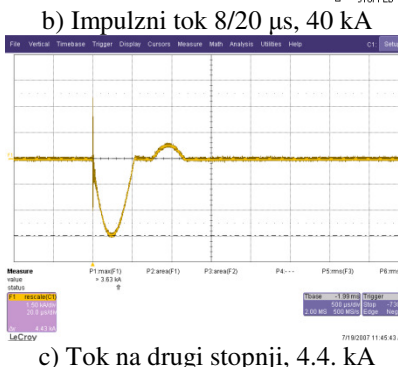
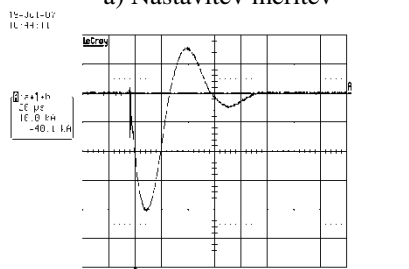
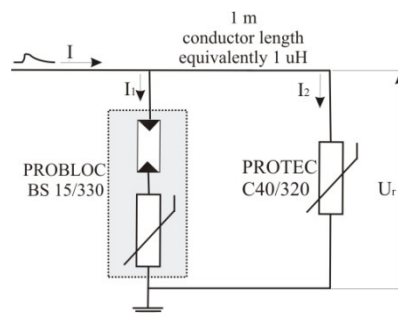
Sliki 4-b in 4c prikazujeta impulzni tok in tok, ki teče skozi MOV na drugi stopnji. Meritve so potrdile uspešno koordinacijo MOV pred direktnimi udari strele.

Na slikah 5 in 6 sta prikazani koordinacija in razdelitev toka med serijsko povezavo MOV in PO z MOV na drugi stopnji. Naše meritve so potrdile uspešno koordinacijo za testna impulza 10/350 μ s in 8/20 μ s prednostjo gašenja loka zaradi uporabe MOV v isti veji s PO.



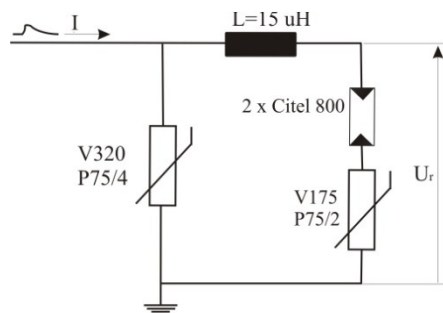
Slika 5: Razdelitev toka pri koordinaciji MOV in PO na prvi stopnji z MOV na drugi stopnji

Meritve, predstavljene na sliki 6, kažejo, da MOV na drugi stopnji ni preobremenjen niti pri nizki induktivnosti 1 μ H za impulz 8/20 μ s.

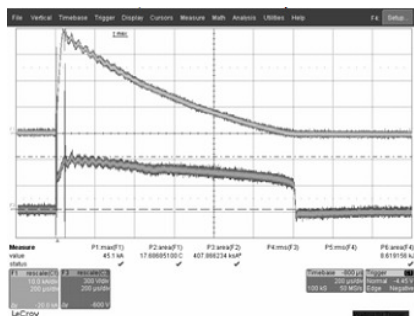


Slika 6. Razdelitev toka v primeru koordinacije MOV in PO v prvi stopnji z MOV v drugi stopnji pri testnem impulzu 8/20 μ s

Koordinacija varistorja v prvi stopnji prenapetostne zaščite z zaporedno povezavo varistorja in plinskega odvodnika v drugi stopnji je preizkušena v soglasju z nastavitvijo meritev podanih na sliki 7-a. Zaščitni napetostni nivoji MOV in PO so izbrani tako, da se doseže preostala napetost na drugi stopnji pod 800 V pri udaru z impulzom oblike 10/350 μ s in amplitude 50 kA (slika 7-b). Predstavljena meritev dokazuje, da predlagana topologija prenapetostne zaščite zagotavlja zelo nizek napetostni zaščitni nivo, tudi pri zelo visokih udarnih tokovih.



a) Nastavitev meritiv



b) Izmerjeni impulzni tok (50 kA) in preostala napetost po drugi stopnji (<800 V)

Slika 7: Koordinacija MOV s kaskadno povezavo med MOV in PO na drugi stopnji

6 SKLEP

Koordinacija prenapetostne zaščite mora biti uspešna za oba preizkusna impulza, 10/350 μ s in 8/20 μ s. Na koordinacijo močno vplivata izbor elementov, vgrajenih v prenapetostne zaščitne naprave (SPD), in topologija vezja.

Uporaba plinskih odvodnikov povzroči kratek stik v nizkonapetostnem omrežju po vžigu in delovanje varovalke ter odklop ščitnega aparata tudi pri majhnem udaru strele. Koordinacija metal-oksidnih varistorjev je uspešna, če se odvajanje prehodne energije v zemljo izvede tako, da se ne doseže največja odvodna moč posameznega varistorja brez predimenzioniranih varistorjev na drugi stopnji. Meritve, predstavljene v prispevku, so dokazale, da se uspešna koordinacija za oba preizkusna impulza doseže z uporabo zaporedne povezave plinskega odvodnika in varistorja na prvi stopnji zaščite. SPD na prvi stopnji je izpostavljen večji tokovni obremenitvi, medtem ko se izognemo kratkemu stiku v nizkonapetostnem omrežju.

ZAHVALA

Prispevek je napisan v spomin na mag. Murka in vsebuje rezultate skupnih raziskav.

LITERATURA

- [1] R.B. Standler, "Protection of electronic circuits from overvoltages", Dover Publications, Inc. New York, 1989.
- [2] IEC 61643-12, "Surgeprotective devices connected to low-voltage power distribution systems– Selection and application principles", 2002.

- [3] IEEE StdC62.22™-2009, "IEEE Guide for the Application of Metal-Oxide Surge Arresters for Alternating-Current Systems", 2009.
- [4] CIGRE Workinggroup 06 of Study Committee 33, "Metal oxide surgearresters in AC systems, Parts 1-2-3-4", Electra, No.128, 1990.
- [5] N. Suljanovic, A. Mujcic, V. Murko, "Practical issues of metal-oxide varistor modeling for numerical simulations", International Conference on Lightning Protection ICLP, Kanazawa, 2006.
- [6] B. Glushakow, D. Neri, "A call to standardize the waveforms used to test SPDs", International Conference on Lightning Protection ICLP, Avignon, France, 2004.
- [7] Berger et al., "Parameters of Lightning Flashes", Cigré 41, pp. 3–37, 1975.
- [8] F.D. Martzloff, "Coordination of surge protectors in low-voltage AC powercircuits", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No.1, Jan/Feb, 1980.
- [9] F.D.Martzloff, JS.Lai, "Cascading Surge Protective Devices: Coordination versus the IEC 664 Staircase", PQA'91 Conference, Gif-sur-Yvette, France, 1991.
- [10] A. Mansoor, F.D. Martzloff, K.O. Phipps, "Gapped Arresters Revisited: A Solution to Cascade Coordination", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.4, Oct. 1998, pp.1174–1181.
- [11] F. Noack., J. Schoenau, F. Reichert, "Lightning pulse current with stand of lower voltage fuses", International conference on Lightning Protection ICLP, Cracow Poland, Sept. 2002.

Vladimir Murko je bil dolgoletni lastnik in direktor podjetja Iskra Zaščite ter raziskovalec na področju prenapetostne zaščite energetskih in telekomunikacijskih omrežij. Kot raziskovalec je objavil veliko raziskovalnih člankov in industrijskih patentov.

Nermin Suljanović je diplomiral leta 1997 in magistriral leta 2000 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Tuzli. Doktoriral je leta 2004 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je kot izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Tuzli. Njegova raziskovalna področja vključujejo telekomunikacije po energetskih vodih, modeliranje po telekomunikacijskih kanalih, pametna energetska omrežja in prenapetostno zaščito.

Aljo Mujčić je diplomiral leta 1992 na Fakulteti za elektrotehniko v Beogradu in magistriral leta 1999 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Tuzli. Doktoriral je leta 2004 na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Zaposlen je kot izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Tuzli. Raziskovalno je aktiven na področjih: zaščitno kodiranje, telekomunikacije po energetskih vodih, pametna energetska omrežja in prenapetostno zaščito.

Jurij Tasič je študij elektrotehnike opravil na Univerzi v Ljubljani, kjer je diplomiral leta 1971, magistriral leta 1973 ter doktoriral v letu 1977. Zdaj je redni profesor na Katedri za telekomunikacije Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in znanstveni svetnik na Inštitutu Jožef Stefan v Ljubljani. Je predstojnik Laboratorija za digitalno obdelavo signalov, slik in videa, izredni član Inženirske akademije Slovenije, gostujoči profesor na Westminster University v Londonu ter vabljeni sodelavec univerz v Parizu in Madridu.