

Izv. prof. dr. sc. Viktor Milardić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
viktor.milardic@fer.hr

Dr. sc. Božidar Filipović-Grčić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
bozidar.filipovic-grcic@fer.hr

PRENAPONSKA ZAŠTITA OBITELJSKE KUĆE

SAŽETAK

Električne instalacije, a posebice njihov neprekidan rad, od presudne su važnosti za moderan svijet. One se od udara munje štite sustavom zaštite od munja i prenaponskom zaštitom. Posebnu pažnju treba posvetiti upravo prenaponskoj zaštiti, jer su štete uzrokovane prenaponima često mnogo veće od fizičke štete nastale izravnim udarom munje.

Svrha rada je razumijevanje prijelaznih pojava koje nastaju prilikom udara munje u obiteljsku kuću koja ima korektno izveden sustav zaštite od munje. U radu je najprije objašnjen model u EMTP-ATP programu. Zatim su provedene simulacije udara munje amplitude 100 kA valnog oblika 10/350 μ s i 8/20 μ s. Razmatran je prijelazni napon na uzemljivaču objekta, prenapon na potrošaču bez i s instaliranim NN odvodnicima prenapona u priključnom ormariću, prenaponi na transformatoru, raspodjela struje munje te energija koju apsorbiraju NN odvodnici prenapona.

Ključne riječi: Prenaponi, obiteljska kuća, odvodnici prenapona, simulacije, EMTP-ATP

OVERVOLTAGE PROTECTION OF A FAMILY HOUSE

SUMMARY

Electrical installations and their continuous operation are of crucial importance for the modern world. Lightning protection system and overvoltage protection are used for protection of electrical installations from lightning flashes. Particular attention should be given to the overvoltage protection because the damages caused by overvoltages are often much larger than the physical damage caused by direct lightning flash.

This paper describes the transients that occur when lightning strikes to a building (a family house) with a correctly designed lightning protection system. In the first part of the paper the model in EMTP-ATP program is presented. Afterwards, the simulations are carried out with 100 kA lightning stroke of 10/350 μ s and 8/20 μ s waveforms. The analysis includes the transient overvoltages of the grounding system, the overvoltages at the consumer with and without LV surge arresters at service entrance, transformer overvoltages, lightning current distribution and the energy absorbed by LV surge arresters.

Key words: Overvoltages, Family house, Surge arresters, Simulations, EMTP-ATP

1. UVOD

Razvojem i napretkom tehnologije, električne instalacije niskog napona sve više dobivaju na važnosti. Bilo na poslu ili u kući, naša ovisnost o električnim i elektroničkim uređajima postaje sve veća. Informacijske mreže u poslovanju, veze u ustanovama za pružanje pomoći poput bolnica ili vatrogasne službe, životno su važne za neometanu razmjenu informacija u stvarnom vremenu. Protok i pohrana informacija moraju se nesmetano odvijati te je potrebno zaštititi uređaje koji ih prenose od vanjskih utjecaja. Opasnost za ove instalacije ne čine samo izravni udari munja. U današnje vrijeme, znatno češće nastaju neizravne štete na elektroničkim uređajima zbog prenapona, koji su uzrokovani atmosferskim pražnjenjima ili sklopnim manipulacijama.

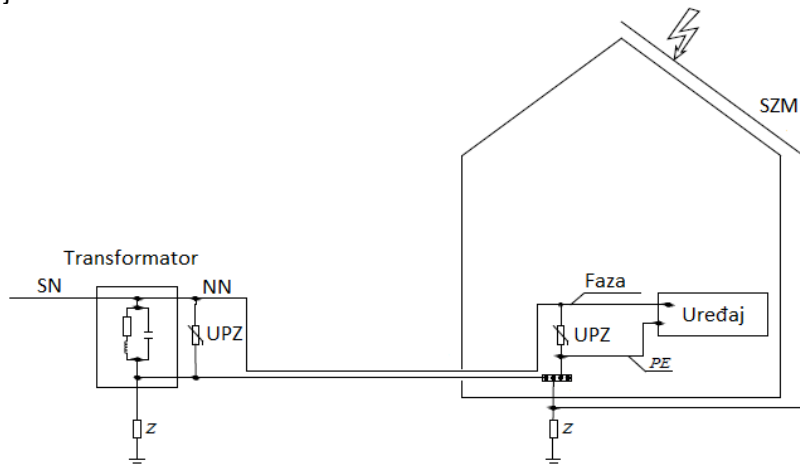
Štete na elektroničkim instalacijama i uređajima zbog prenapona sve su veće zbog sve šire upotrebe elektroničkih uređaja i sustava u svakom domu (računala s modemsom priključkom na Internet, IPTV i ADSL uređaji, itd.), sve niže razine radnog signala uređaja, čime se povećava njihova osjetljivost na prenapone i sve većeg broja umreženih sustava koji pokrivaju sve veća područja. Šteta, osim s aspekta fizičkih oštećenja, može biti znatno izraženija u vidu nedostupnosti podataka, nemogućnosti poslovanja te nefunkcioniranja usluge. Zbog toga, suvremeni sustav zaštite od prenapona ne podrazumijeva samo zaštitu građevina i ljudi, već i kvalitetan sustav zaštite unutrašnjosti građevine s posebnim naglaskom na vitalne dijelove elektroničke opreme.

Prijelazne pojave koje nastaju prilikom udara munje u NN mrežu detaljno su razmatrane u [1]. U ovom radu razmatrane su prijelazne pojave koje nastaju prilikom udara munje u objekt (obiteljsku kuću) koja ima korektno izveden sustav zaštite od munje. Pri udaru munje u takav objekt mogu nastati kvarovi na električnoj i elektroničkoj opremi jer sustav zaštite od munje štiti objekt od fizičkih oštećenja prouzročenih nekontroliranim protjecanjem struje munje prema zemlji, ali ne štiti potrošače u objektu od prenapona. Za zaštitu od prenapona potrebna je prenaponska zaštita, [2]. NN potrošači koji su spojeni i na druge instalacije (TV prijemnik na antensku instalaciju, računalo spojeno preko modema na telefonsku instalaciju itd.) su posebno ugroženi. Prenaponska zaštita takvih uređaja se mora provesti na način da i te instalacije u svom priključnom ormariću budu zaštićene odgovarajućim NN odvodnicima prenapona te da se kod samog potrošača koristi kombinirana prenaponska zaštita.

U ovom radu razmatrana je prenaponska zaštite niskonaponske instalacije obiteljske kuće pomoću programskog paketa EMTP-ATP, [3]. U simulacijama su razmatrani parametri koji utječu na prenaponsku zaštitu zasnovanu na NN metal-oksidnim (MO) odvodnicima prenapona, [4].

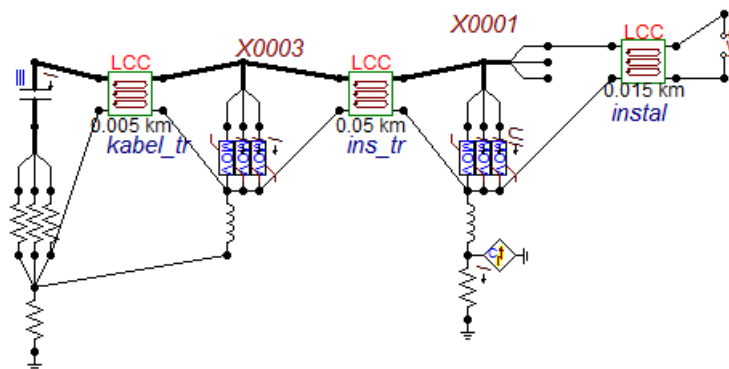
2. MODEL

U programskom paketu EMTP-ATP provedena je simulacija udara munje u sustav zaštite od munje obiteljske kuće. Pojednostavljena shema instalacije razmatrane u simulaciji prikazana je na slici 1 (u simulaciji je korišten trofazni model). Pretpostavljena je korektna izvedba sustava zaštite od munje, hvataljke i odvodi spojeni na uzemljivač. Na uzemljivač je također spojena i sabirnica za izjednačavanje potencijala, a na nju PEN vodič niskonaponske mreže. Iz sheme na slici 1 je jasno da će prijelazni porast napona sabirnice za izjednačavanje potencijala, u prvom redu ovisiti o struji munje koja je pogodila sustav zaštite od munje te otporu rasprostiranja uzemljivača obiteljske kuće. Uređaj (potrošač) na slici 1 neće biti zaštićen sustavom zaštite od munje ukoliko nije instalirana odgovarajuća prenaponska zaštita, što će biti pokazano simulacijama.



Slika 1. Pojednostavljena shema niskonaponske instalacije

Za razmatranje prijelaznih pojava pri udaru munje korišten je EMTP-ATP model na slici 2.



Slika 2. Model NN instalacije u ATPDraw-u

U tablici I nalazi se popis elemenata u EMTP-ATP modelu i njihovih vrijednosti.

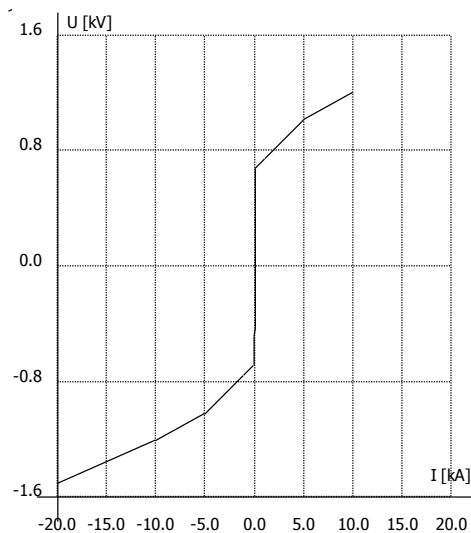
Tablica I. Osnovni podaci elemenata u modelu

Struja munje	100 kA, 10/350 μ s i 8/20 μ s
Uzemljivač kuće	10 Ω , 30 Ω , 70 Ω
Uzemljivač TS	10 Ω
Instalacijski kabel	2x2,5 mm ² Cu, 15 m
Priključni kabel	4x16 mm ² , Al, 50 m
Kabel od odvodnika prenapona do transformatora u TS	4x95 mm ² , Al, 5 m
Kapacitet transformatora 10(20)/0,42 kV	5 nF/fazi

Korišten je model niskonaponskog MO odvodnika prenapona čija je strujno – naponska karakteristika prikazana u tablici II i na slici 3.

Tablica II: Strujno-naponska karakteristika NN MO odvodnika prenapona

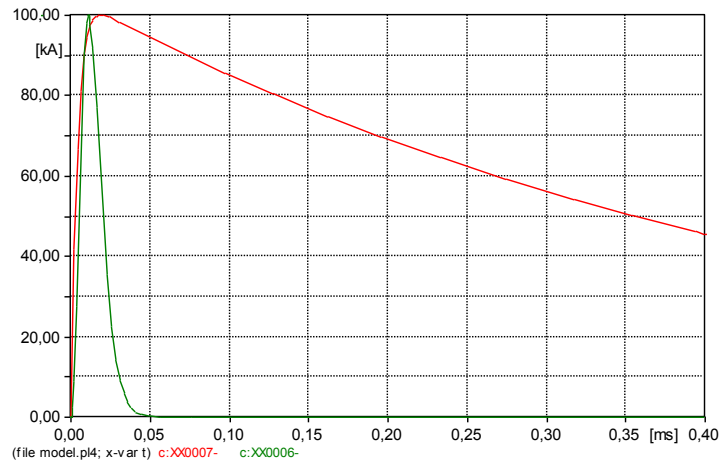
I [A]	U [V]
0,001	350
0,01	417
0,1	483
1	550
10	617
100	683
1030	750
5050	1020
10000	1200
20000	1500



Slika 3. Strujno-naponska karakteristika NN MO odvodnika prenapona

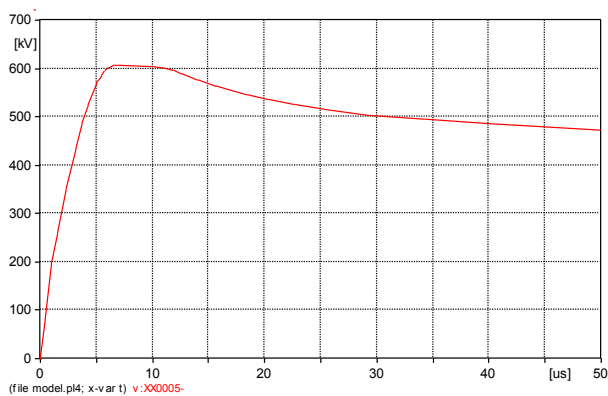
3. SIMULACIJE

Za simulaciju udara munje korišteni su strujni impulsi valnog oblika 8/20 μ s i 10/350 μ s, slika 4. Ovi valni oblici uobičajeno se koriste u američkim [5] i IEC normama [6]-[8] za simulaciju udara munje.

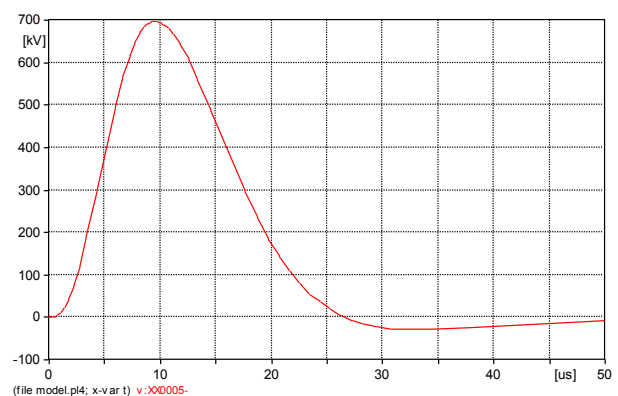


Slika 4. Strujni impuls 100 kA valnog oblika 8/20 μ s (zeleno) i 10/350 μ s (crveno)

Kada struja munje pogodi sustav zaštite od munje objekta, dolazi do porasta napona uzemljivača objekta i s njim povezanih metalnih masa, zbog protjecanja struje munje. Na slici 5 je prikazan napon na uzemljivaču objekta kada nisu instalirani NN odvodnici prenapona u priključnom ormariću objekta. Vrijednost otpora rasprostiranja uzemljivača objekta je 10 Ω , a struja munje 100 kA valnog oblika 10/350 μ s. Na slici 6 je prikazan isti napon, ali pri struji munje 100 kA valnog oblika 8/20 μ s.

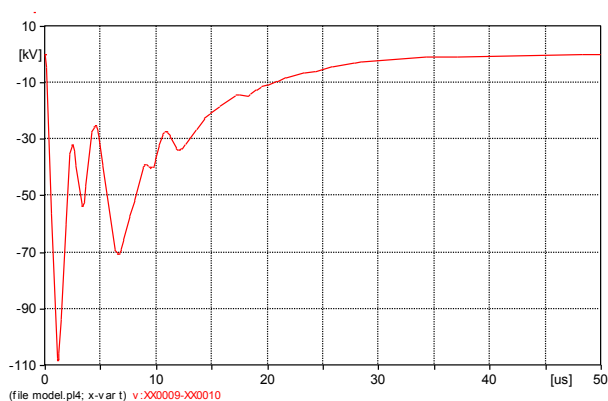


Slika 5. Napon na uzemljivaču objekta, nisu priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 10/350 μ s), $U_{max}=607,6$ kV

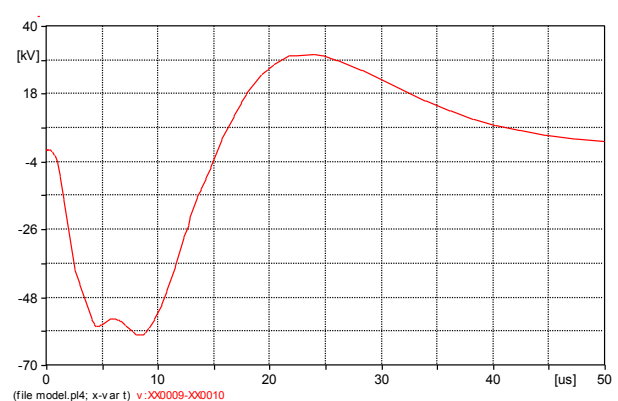


Slika 6. Napon na uzemljivaču objekta, nisu priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 8/20 μ s), $U_{max}=697,0$ kV

Kao što se moglo pretpostaviti nastaju vrlo visoki prijelazni naponi uzemljivača objekta (600 kV - 700 kV). Kakav je u tom slučaju napon na potrošaču (uređaju) u objektu? Napon na potrošaču prikazan je na slikama 7 i 8.

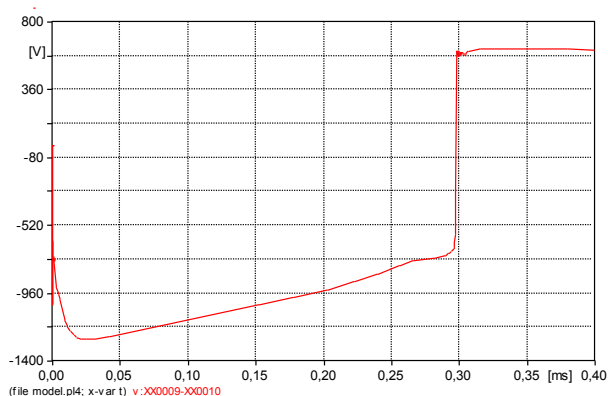


Slika 7. Napon na potrošaču, nisu priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 10/350 μ s), $U_{max}=-108,2$ kV

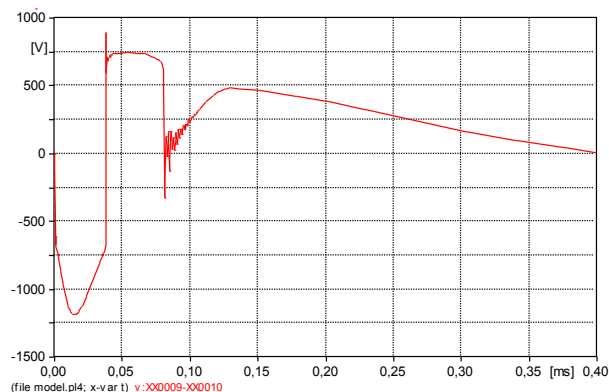


Slika 8. Napon na potrošaču, nisu priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 8/20 μ s), $U_{max}=-60,2$ kV

Iz slika je jasno da napon na potrošaču u objektu, udaljenom 15 m od priključnog ormarića, može dosegnuti visoke vrijednosti (reda veličine 100 kV). To objašnjava činjenicu da pri udaru munje dolazi do kvarova i u objektima koji imaju korektno izveden sustav zaštite od munje. Sustav zaštite od munje štiti objekt od fizičkih oštećenja prouzročenih nekontroliranim protjecanjem struje munje prema zemlji, ali ne štiti potrošače u objektu od prenapona. Za zaštitu od prenapona potrebna je prenaponska zaštita. Naponi na potrošaču, uz instalirane odvodnike prenapona u priključnom ormariću, su prikazani na slikama 9 i 10.



Slika 9. Napon na potrošaču, priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 10/350 μ s), $U_{\max}=-1,260$ kV



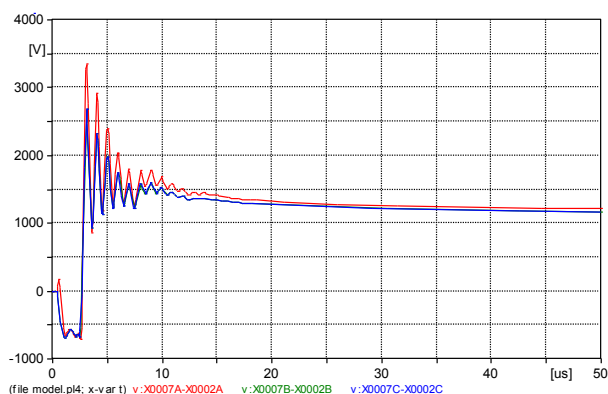
Slika 10. Napon na potrošaču, priključeni odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 8/20 μ s), $U_{\max}=-1,187$ kV

Iz slika 9 i 10 jasno je da su naponi na potrošaču sada znatno manji ($< 1,5$ kV) te da izolacija potrošača ne bi trebala biti ugrožena. Ovdje treba napomenuti da gornje razmatranje vrijedi za NN potrošač koji je spojen samo na NN mrežu (npr. perlica rublja, perilica posuđa, glačalo...). NN potrošači koji su spojeni i na druge instalacije npr. TV prijemnik na antensku instalaciju, računalo spojeno preko modema na telefonsku instalaciju itd..., mogu biti ugroženi. Zašto?

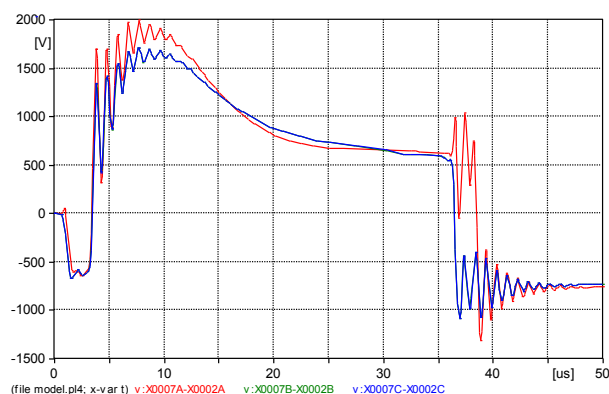
Zato što prenaponi mogu stići i preko tih instalacija, te zbog prijelazne razlike potencijala, koja nastaje pri udaru munje, između NN instalacije i drugih instalacija. Zaštita takvih uređaja se mora provesti na način da i te instalacije u svom priključnom ormariću budu zaštićene odgovarajućim NN odvodnicima prenapona te da se kod samog potrošača koristi kombiniran prenaponska zaštita.

Kakvi su prenaponi na transformatoru, pri udaru munje u sustav zaštite od munje objekta?

Transformator sa slike 1 je korektno zaštićen odvodnicima prenapona na NN strani, pa se ne očekuju visoki prenaponi. To potvrđuju rezultati simulacija na slikama 11 i 12. Na slikama su prikazani prenaponi u sve tri faze.

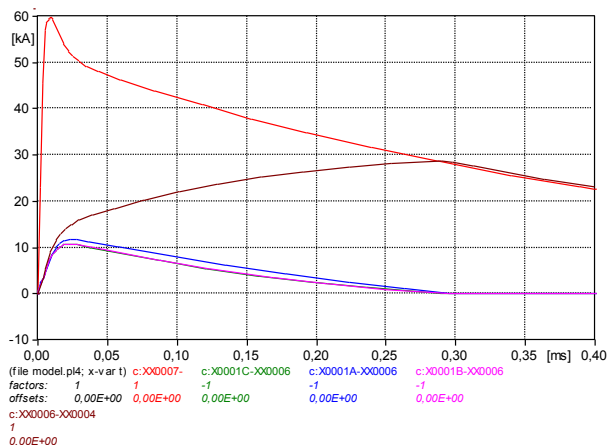


Slika 11. Napon na transformatoru, priključeni odvodnici prenapona u objektu i TR (val 100 kA, 10/350 μ s), $U_{\max}=3,343$ kV

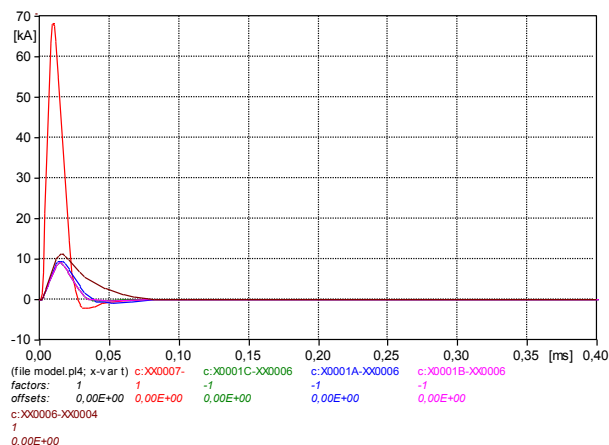


Slika 12. Napon na transformatoru, priključeni odvodnici prenapona u objektu i TR (100 kA, 8/20 μ s), $U_{\max}=1,996$ kV

Slijedeće pitanje koje se postavlja je kako se raspodijeli struja munje pri udaru u sustav zaštite od munje objekta. Rezultati su prikazani na slikama 13 i 14. Najveći dio struje munje odlazi u uzemljivač objekta (59,7 kA odnosno 68,3 kA). Preostali dio struje se raspoređuje kroz NN odvodnike prenapona u objektu i PEN vodič prema transformatorskoj stanici. Ovdje je važno napomenuti da pojedini dijelovi struje munje ne dostižu istovremeno svoje maksimume.

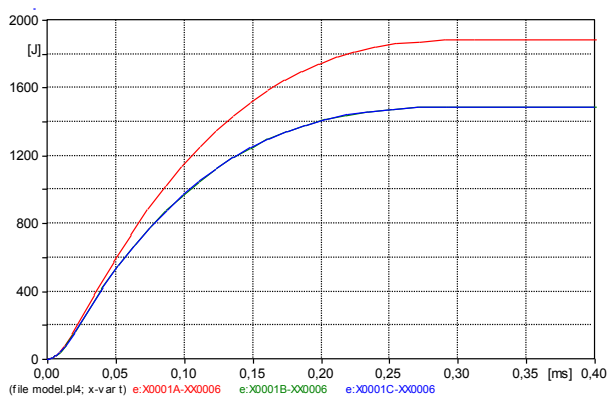


Slika 13. Struja kroz uzemljivač, odvodnike prenapona u objektu te PEN vodič (100 kA, 10/350 μ s), $I_{uzmax}=59,7$ kA, $I_{od1max}=11,65$ kA, $I_{od2max}=10,70$ kA, $I_{od3max}=10,70$ kA, $I_{PENmax}=28,59$ kA

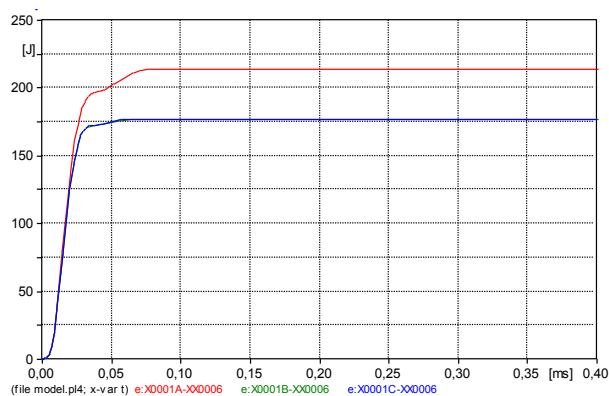


Slika 14. Struja kroz uzemljivač, odvodnike prenapona u objektu te PEN vodič (100 kA, 8/20 μ s), $I_{uzmax}=68,3$ kA, $I_{od1max}=9,54$ kA, $I_{od2max}=9,00$ kA, $I_{od3max}=9,01$ kA, $I_{PENmax}=11,27$ kA

Protjecanjem dijela struje munje kroz NN MO odvodnik prenapona dolazi do apsorpcije energije, odvodnik prenapona se zagrijava i može biti uništen. Koliko energije će NN MO odvodnik prenapona apsorbirati ovisi o amplitudi i valnom obliku struje munje koju odvodi, te karakteristici NN odvodnika prenapona (tablica II i slika 3). Na slikama 15 i 16 su energije koje apsorbiraju NN MO odvodnici prenapona u objektu, za udar munje amplitude 100 kA valnog oblika 8/20 μ s i 10/350 μ s. Kako je valni oblik 10/350 μ s višestruko duži od valnog oblika 8/20 μ s, to je i apsorbirana energija NN MO odvodnika prenapona višestruko veća.



Slika 15. Energija koju apsorbiraju odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 10/350 μ s), $E_{od1}=1,88$ kJ, $E_{od2}=1,49$ kJ, $E_{od3}=1,49$ kJ

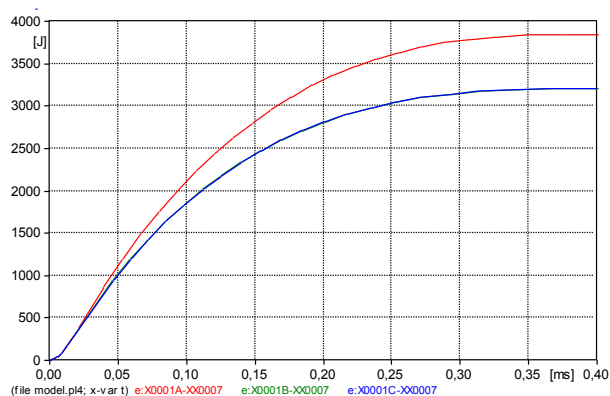


Slika 16. Energija koju apsorbiraju odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 8/20 μ s), $E_{od1}=214,1$ J, $E_{od2}=176,9$ J, $E_{od3}=177,0$ J

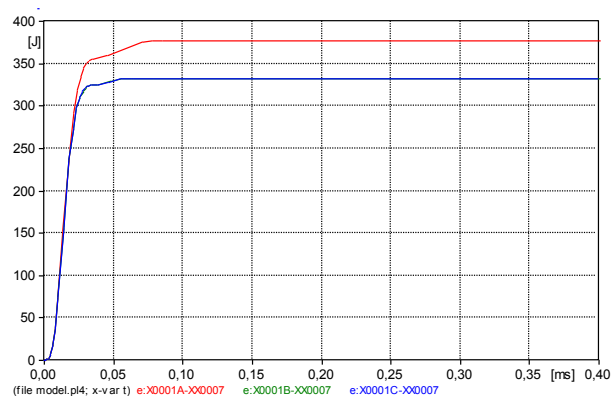
Za slučaj kada je otpor rasprostiranja uzemljivača objekta veći, npr. 30 Ω , što je čest slučaj za objekte u područjima visokog specifičnog otpora tla, tada će dio struje munje kroz uzemljivač objekta biti manji, a kroz NN odvodnike prenapona veći. Time će i apsorbirana energija NN odvodnika prenapona biti veća, slike 16 i 17.

Za slučaj kada je otpor rasprostiranja uzemljivača objekta još veći, npr. 70 Ω , tada će dio struje munje kroz uzemljivač objekta biti još manji a kroz NN odvodnike prenapona još veći a time i apsorbirana energija NN odvodnika prenapona.

Za struju munje 100 kA valnog oblika 10/350 μ s energije koje apsorbiraju NN odvodnici prenapona su: $E_{od1}=5,02$ kJ, $E_{od2}=4,25$ kJ, $E_{od3}=4,25$ kJ. Za struju munje 100 kA valnog oblika 8/20 μ s energije koje apsorbiraju NN odvodnici prenapona su: $E_{od1}=471,6$ J, $E_{od2}=424,4$ J, $E_{od3}=424,7$ J. NN MO odvodnici prenapona za fazni napon 230 V, ovisno o promjeru MO pločice, mogu apsorbirati do 1,5 kJ, [9]. Ovo pokazuje da bi isti u većini realnih slučajeva bili preopterećeni ako bi struja munje bila 100 kA, valnog oblika 10/350 μ s.



Slika 17. Energija koju apsorbiraju odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 10/350 μ s),
 $E_{od1}=3,84$ kJ, $E_{od2}=3,20$ kJ, $E_{od3}=3,20$ kJ



Slika 18. Energija koju apsorbiraju odvodnici prenapona u objektu (100 kA, 8/20 μ s),
 $E_{od1}=377,0$ J, $E_{od2}=332,4$ J, $E_{od3}=332,6$ J

4. ZAKLJUČAK

U radu su razmatrane prijelazne pojave koje nastaju prilikom udara munje u objekt (obiteljsku kuću) koja ima korektno izveden sustav zaštite od munje. Pri udaru munje u takav objekt mogu nastati kvarovi na električnoj i elektroničkoj opremi jer sustav zaštite od munje štiti objekt od fizičkih oštećenja prouzročenih nekontroliranim protjecanjem struje munje prema zemlji, ali ne štiti potrošače u objektu od prenapona. Za zaštitu od prenapona je potrebna prenaponska zaštita. NN potrošači koji su spojeni i na druge instalacije (TV prijemnik na antensku instalaciju, računalo spojeno preko modema na telefonsku instalaciju itd.) su posebno ugroženi. Prenaponska zaštita takvih uređaja se mora provesti na način da i te instalacije u svom priključnom ormariću budu zaštićene odgovarajućim NN odvodnicima prenapona te da se kod samog potrošača koristi kombinirana prenaponska zaštita.

Poslije svakog udara munje u sustav zaštite od munje objekta, potrebno je provesti kontrolu sustava zaštite od munje i NN odvodnika prenapona jer su moguća oštećenja.

5. LITERATURA

- [1] V. Milardić; I. Uglešić; I. Pavić: „Selection of Surge Protective Devices for Low-Voltage Systems Connected to Overhead Line“, IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 25, NO. 3, JULY 2010.
- [2] V. Milardić; I. Babić: „Prenaponska zaštita niskonaponske instalacije“, 11. savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, 10-13.11.2013.
- [3] ATPDraw, Windows version 5.6p6, NTNU/SINTEF Norway, 2010.
- [4] Kisielewicz; Fiamingo; Flisowski; Kuca; Lo Piparo; Mazzeti, „Factors Influencing the Selection and Installation of Surge Protective Devices for Low Voltage Systems“, 2012 ICLP Vienna, Austria.
- [5] IEEE C62.45-2002: Recommended practice on surge testing for equipment connected to low-voltage ac power circuits.
- [6] IEC 61643-1 (2007-07) Ed. 3.0: Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Requirements and tests
- [7] EN 61643-11 (2011-03) Ed. 1.0: Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems - Requirements and tests.
- [8] IEC 61643-12 (2008-11): Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles
- [9] V. Milardić: „Metoda izbora uređaja prenaponske zaštite u niskonaponskim sustavima“, doktorska disertacija, FER Zagreb, 2005.