

ZAŠTITA USAMLJENIH OBJEKATA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

LIGHTNING PROTECTION OF ISOLATED BUILDINGS

Tomislav RAJIĆ, Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet, Srbija

Milan SAVIĆ, Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet, Srbija

Željko TORLAK, Elektromreža Srbija AD

Boro JANKOVIĆ, Herni neprimetni gromobran d.o.o. Srbija

Branko GLUŠICA, Sudski veštak

KRATAK SADRŽAJ

U našoj zemlji su česti požari u ruralnim oblastima, posebno na vikendicama, usled nedostatka primene savremenih mera za ograničavanje atmosferskih prenapona. U radu je prikazana analiza ugroženosti objekata od atmosferskih prenapona nastalih na niskonaponskim instalacijama unutar objekta, za slučaj kada se primenjuje ili ne primenjuje prenaponska zaštita na ulazu u objekat. Analizirani su različiti načini na koji atmosferski prenaponi mogu nastati na niskonaponskim instalacijama unutar objekata, koji mogu izazvati štete na električnim uređajima, ali i izazvati požare sa ozbiljnim posledicama. Računski se može proceniti rizik kvarova izolacije u objektu na osnovu godišnje gustine atmosferskih pražnjenja za određeno područje. U radu je prikazana primena sistema za lokaciju atmosferskih udara sa ciljem utvrđivanja mesta atmosferskih pražnjenja koja mogu biti potencijalni uzrok štete na analiziranom objektu, što se može koristiti u procesu ekspertize nastanka požara. Od posebnog interesa su objekti koji su daleko od napojnih transformatorskih stanica, kod kojih kratak spoj usled atmosferskog prenapona koji izaziva proboj izolacije ne može da bude eliminisan od strane osigurača u napojnoj transformatorskoj stanici zbog struje kratkog spoja koja je manja od struje reagovanja osigurača zbog velike impedanse voda. U radu se daje predlog izmene u Tehničkoj preporuci Elektrodistribucije u poglavlju pod naslovom „Zaštita priključaka i električnih instalacija”, kako bi preporuka bila u saglasnosti sa međunarodnim standardima koji su usvojeni na našem jeziku pre više godina.

Ključne reči: atmosferski prenaponi, prenaponska zaštita, rizik kvara, tehnička preporuka

SUMMARY

In our country, fires are frequent in rural areas, especially due to the lack of application of surge protective measures to limit lightning overvoltages in electrical installations. In this paper is presented the analysis of lightning performance of the internal low voltage installations in objects without and with surge protective devices (SPD) application. The various sources of penetration of lightning overvoltages in low voltage installations are analyzed, which can also cause destroying of electrical devices, but can cause fire with serious consequences. The risk assessment of the damage of the object will be performed in a numerical way, based on annual lightning ground flash density for the observed region. The application of the lightning location system for the investigation of the possible source of fire is presented in the paper. The special attention should be paid to isolated object far away from power substation, where lightning overvoltages insulation failure can cause the short circuit in the power substation. If the short circuit current is limited by the long line conductor impedance, it can happen that the short circuit current is smaller than electrical fuse melting threshold in substation. The paper proposes changes to Technical Recommendation of Electrical Distribution Company, the chapter entitled "Protection of connections and electrical installations", so that the recommendation should be in line with international standards that have been adopted in our country by Institute of Standardization of Serbia.

Keywords: lightning overvoltages, overvoltage protection, risk of failure, technical recommendation

UVOD

U ruralnim sredinama postoji veliki broj objekata gde vlasnici ne borave tokom cele godine. Za takve objekte, vlasnici često misle da prenaponska zaštita nije od prevelike važnosti jer se električni uređaji isključuju kada se u objektu ne boravi. Jedan od problema je što kratak spoj nastao usled atmosferskog prenapona koji je izazvao proboj izolacije u nekim slučajevima ne može da bude eliminisan od strane osigurača u napojnoj transformatorskoj stanici zbog male vrednosti struje kratkog spoja, a osigurači u objektu su iza mesta kratkog spoja. Cilj rada je da se naglasi važnost upotrebe prenaponske zaštite (najčešće u merno razvodnim ormanima (MRO), kako bi se izbegle nepotrebne štete. U radu će biti prikazani svi načini delovanja atmosferskih pražnjenja na niskonaponske električne instalacije u individualnim objektima [1-3]. Takođe će biti dat osvrt na pojavu indukovanih prenapona usled atmosferskog pražnjenja u okolne objekte [8, 9], što u niskonaponskim instalacijama može biti čest uzrok šteta zbog niskog podnosivog napona izolacije.

Prenaponska zaštita električnih instalacija na niskom naponu je zaštita pre svega od atmosferskih pražnjenja. Atmosferski udari mogu delovati na električne instalacije na 3 načina (standard [2], prilog E):

1. direktan udar u nadzemni napojni vod niskog napona (prema standardnoj klasifikaciji pripada izvoru oštećenja S3),
2. direktni udar u prihvatni sistem gromobranske zaštite na objektu (izvor oštećenja S1),
3. indukovani prenaponski talas usled udara u okolinu objekta. Ovi prenaponi su niže amplitude, ali broj ovakvih prenaponskih talasa je znatno veći nego usled direktnih udara (izvor oštećenja S2).

U radu će biti predložena izmena u Tehničkoj preporuci Elektrodistribucije [10] u poglavlju „Zaštita priključaka i električnih instalacija”, kako bi preporuka bila u saglasnosti sa međunarodnim standardima koji su usvojeni kao nacionalni standardi na našem jeziku pre više godina [2, 11, 12].

Prema standardu [2], postoje tri nivo zaštite (LPL-Lightning Protection Levels) unutrašnjih električnih instalacija od atmosferskog prenapona. Prvi nivo se ugrađuje na ulazu u objekat u merno-razvodnim ormanima (MRO) ili kablovskim priključnim kutijama (KPK). Prenaponi utiču na naprezanje izolacije između 0.4 kV faznih provodnika prema neutralnom provodniku i prema uzemljenim metalnim masama. Problem se rešava postavljanjem prenaponskih zaštitnih uređaja (SPD- Surge Protective Devices) između faznih provodnika, neutralnog provodnika i šine za izjednačenje potencijala koja je najkraćim putem vezana za uzemljivač. U zavisnosti od sistema uzemljenja zavisi koja će se sprega SPD koristiti za zaštitu faznih provodnika trofaznog sistema prema zaštitnoj zemlji (PE) ili faznih provodnika prema neutralnom provodniku (N) i neutralnog provodnika prema PE.

KARAKTERISTIKE PRENAPONSKIH ZAŠTITNIH UREĐAJA

Kod analize zaštite unutrašnjih niskonaponskih instalacija koristiće se dva tipa zaštitnih uređaja:

- Zaštitni uređaji tipa 1 (služe za odvođenje struje udara) koji se postavljaju u MRO. Oni su najčešće sa iskrištem i imaju karakteristiku da obaraju napon nakon reagovanja na vrlo nisku vrednost.
- Zaštitni uređaji tipa 2 (odvodnici prenapona) koji se postavljaju bliže potrošačima. Najčešće se rade sa varistorima, koji vrše ograničavanje prenapona na vrednost preostalog napona.

U Tabeli 1 date su karakteristike primenjenih uređaja u ovom radu tipa 1 i 2 koji se priključuju između faze i neutralnog provodnika (L-N) i između neutralnog provodnika i zaštitne zemlje (N-PE).

TABELA 1: KARAKTERISTIKE SPD TIPA 1 I 2

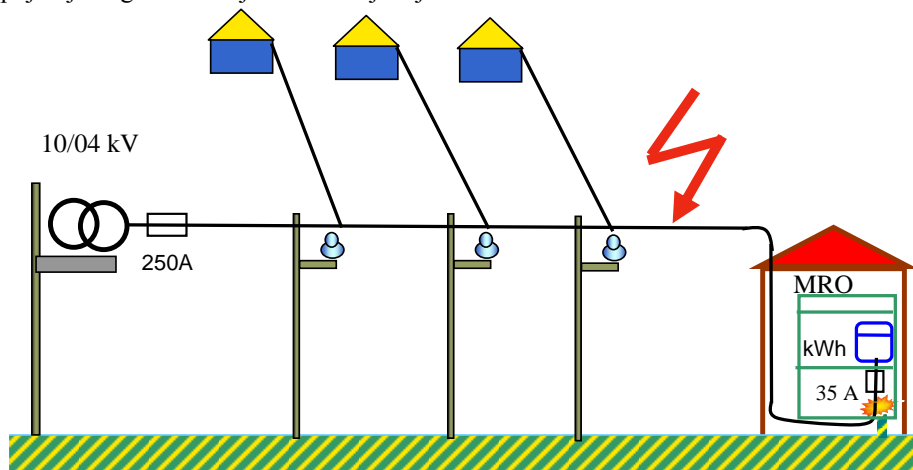
		Tip 1		Tip 2	
		Iskrište	Iskrište	Varistor	GDT*
Naziv karakteristike	Oznaka	Sprega L-N	Sprega N-PE	Sprega L-N	Sprega N-PE
Nominalni napon	Un (V)	230			
Maksimalni trajni radni napon	Uc(V)	255	255	275	275
Amplituda udarne struje oblika 10/350μs	Im(kA)	50	100		
Privremeni prenapon (TOV) sa trajanjem	Ut(V)	440 za 5 s	1200 za 0.2 s	335 za 5 s	1200 za 0.2 s
Maksimalna struja pražnjenja oblika 8/20 μs	Imax(kA)		150	50	50
Nominalna udarna struja pražnjenja	In(kA)		75	20	20
Zaštitni nivo (maksimalni napon reagovanja)	Ur(kV)	1.3	2	1.3	1.3
Maksimalno vreme odziva	Tr (ns)	100	100	25	100

Napomena; GDT (engl. Gas Discharge Tubes) – gasni odvodnici prenapona.

ATMOSFERSKI UDARI U NADZEMNI NAPOJNI VOD NISKOG NAPONA

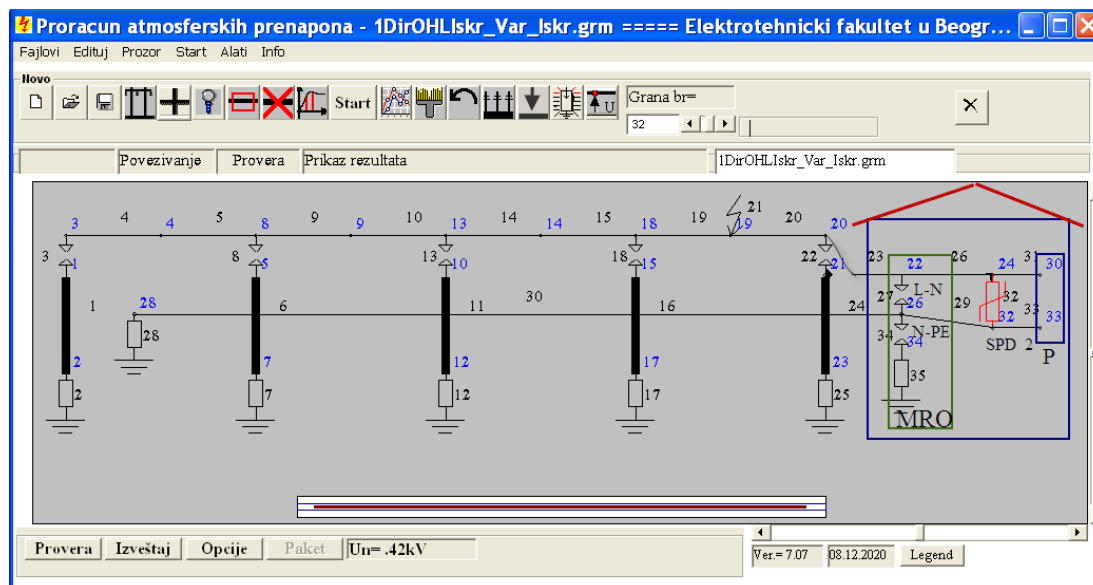
Ugroženost od prenapona koji nailaze po vodu i primena prenaponske zaštite

Direktni atmosferski udari u nadzemni vod niskog napona mogu da naprave velike štete na objektima koji se napajaju, bez obzira, da li je nadzemni vod realizovan pomoću 4 neizolovana provodnika (tri fazna i neutralni) ili preko samonosivih kablovskih snopova (SKS). Čak i kod vodova sa neizolovanim provodnicima, spoljašnji i unutrašnji kućni priključak (KP) se radi sa SKS, koji se provodi bez nastavljanja do MRO. Na slici 1 prikazan je tipičan način napajanja u ruralnoj oblasti nekoliko potrošača iz stubne transformatorske stanice nadzemnim vodom. Na slici je označeno kritično mesto na kome preskok ispred osigurača u MRO (limitatora) može da izazove kratak spoj koji osigurači u objektu ne isključuju.



SLIKA 1: NAPAJANJE OBJEKATA NADZEMNIM VODOM U KOJI SE DOGAĐA DIREKTNI ATMOSFERSKI UDAR

Analiza prenapona pri udarima u prva 4 raspona ispred objekta urađena je za 3 slučaja: a) kada se ne primenjuje nikakva prenaponska zaštita, b) primenjuje se samo zaštita u MRO, c) kada se primenjuje zaštita u MRO i kod potrošača. Analiza je izvršena primenom programa GROM [4]. Ekranski prikaz šeme sa označenim stubovima, koji se smatraju da su od provodnog materijala (metalni ili armirano-betonski) sa otporom uzemljenja 10Ω , prikazana je na slici 2. Proračuni se rade u jednopolnoj šemi, s tim što se mora modelovati neutralni provodnik, koji je uzemljen u transformatorskoj stanici. Od poslednjeg stuba do MRO vodi se SKS čiji je podnosivi napon znatno veći od minimalnog dozvoljenog podnosivog napona izolacije, koji iznosi 6 kV. SKS se vodi bez nastavljanja od poslednjeg stuba do MRO, tako da je najslabije mesto na izolaciji unutar MRO (redne stezaljke, prekidač i brojilo).



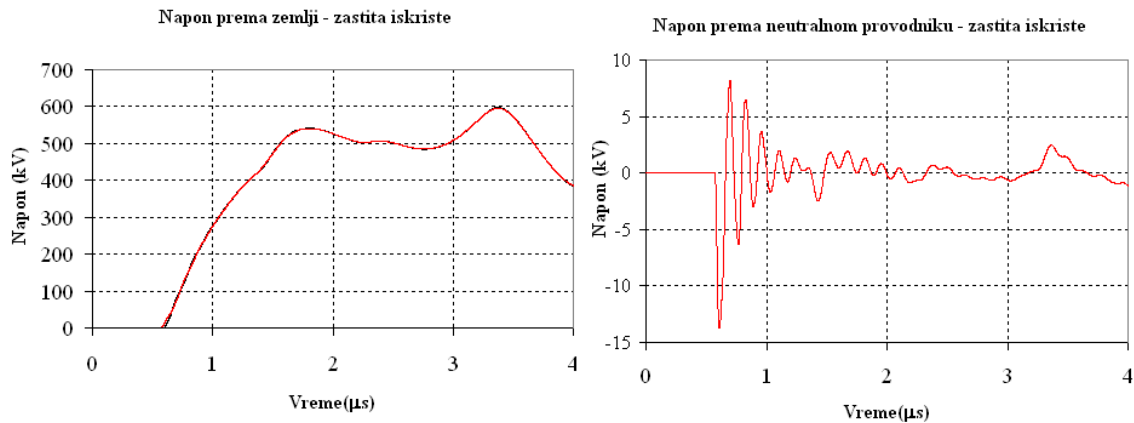
SLIKA 2: EKRANSKI PRIKAZ ŠEME ZA PRORAČUN PRENAPONA SA PRIMENJENIM SPD U MRO I ISPRED POTROŠAČA P.

Analiziraju se 3 slučaja;

1. Nema prenaponske zaštite
2. Prenaponska zaštita u MRO: a) između faze i neutralnog provodnika F-N, b) između neutralnog provodnika i zemlje N-PE, oba na bazi iskrišta (SPD tipa 1)
3. Prenaponska zaštita: a) u MRO sprege F-N i N-PE, na bazi iskrišta (SPD tipa 1), b) ispred potrošača sprege F-N na bazi varistora (SPD tip 2).

Rezultati proračuna prikazani su u daljem tekstu.

Na slici 3 desno prikazan je napon na potrošaču 12 m iza MRO između čvorova 30 i 33 (ulazna impedansa 1 M Ω). Amplituda struje atmosferskog pražnjenja je 150 kA, što odgovara nivou zaštite LPL 2. Na slici levo prikazan je oblik napona na faznom provodniku prema beskonačno udaljenoj zemlji. Ukoliko ne bi bilo prenaponske zaštite, napon faze prema neutralnom provodniku bi imao veoma sličan oblik i amplitudu kao na slici 3 levo.



SLIKA 3: TALASNI OBLIK NAPONA NA POTROŠAČU (DESNO) I PREMA UDALJENOJ ZEMLJI (LEVO)

Na slici 4 prikazan je napon između faznog provodnika i neutralnog provodnika F-N kada je primenjena prenaponska zaštita u MRO i između faze i neutralnog provodnika na bazi varistora ispred potrošača između tačaka 24 i 32. Napon je računat na potrošaču između čvorova 30 i 33.



SLIKA 4: NAPON NA POTROŠAČU KADA SE KORISTI SPD TIP 1 (SA ISKRIŠTEM) U MRO I SPD TIP 2 (VARISTOR) 2 M ISPRED POTROŠAČA

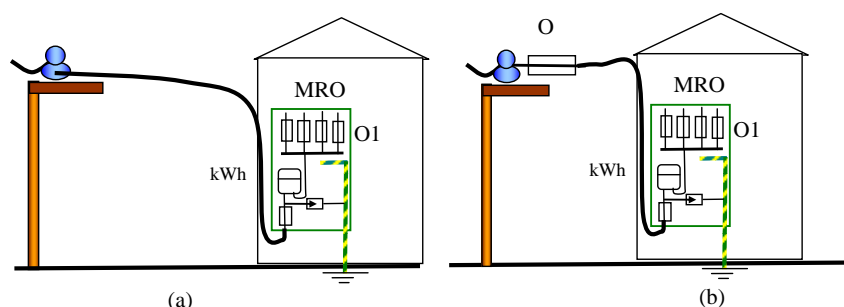
Potrošač je zaštićen, jer je napon niži od podnosivog napona manje osetljivih električnih uređaja koji je 2500 V.

Problemi zaštite od kratkih spojeva nastalih probojima u objektima usled prenapona

Čest uzrok požara na objektima u ruralnim područjima je kada se njegovo napajanje vrši dugačkim nadzemnim vodom, kao na slici 1, kada proboj između faznog provodnika i zemlje nastaje ispred osigurača u MRO. U tom slučaju je neophodno da osigurač na izvodu stubne transformatorske stanice isključi kvar. U slučaju dugačkih deonica nadzemnog voda ispred ugroženog objekta, može se desiti da je impedansa voda do mesta kvara previše velika da bi struja kvara mogla da izazove brzo reagovanje osigurača. U tom slučaju, na mestu preskoka u

objektu može nastati električni luk dugog trajanja, koji može izazvati požar, a da pri tome ne postoji način da se struja kratkog spoja prekine. Prema primeru sa slike 1, preskok je nastao ispred osigurača od 35 A u MRO analiziranog objekta, a osigurači u transformatorskoj stanici su naznačene struje 250 A.

U [10], tačka 18.3 definiše se postavljanje osigurača na stub ispred objekta (slika b). Postavljanje odvodnika prenapona na stubu ispred objekta (slika 2 a) ima veoma mali efekat na zaštitu potrošača napajanih iz nadzemne niskonaponske mreže od prenapona [8]. Pad napona ΔU na zemljovodu od donjeg priključka odvodnika prenapona do uzemljivača može da bude nekoliko desetina kV, daleko više nego što je preostali napon na odvodniku prenapona. Postavljanje prenaponske zaštite na kućnom priključku je prema [10] obavezno za područja sa kerauničkim nivoom preko 40 dana, kao i za zapaljive objekte ili objekte na krajevima dužih deonica nadzemnih vodova. U slučajevima kada je keraunički nivo ispod 40 i objekti nisu od zapaljivog materijala, prema preporuci [10] koja je još važeća, prenaponska zaštita nije potrebna. Takođe, prema istoj preporuci ne pominje se primena prenaponske zaštite za objekte napajane podzemnim kablovima.



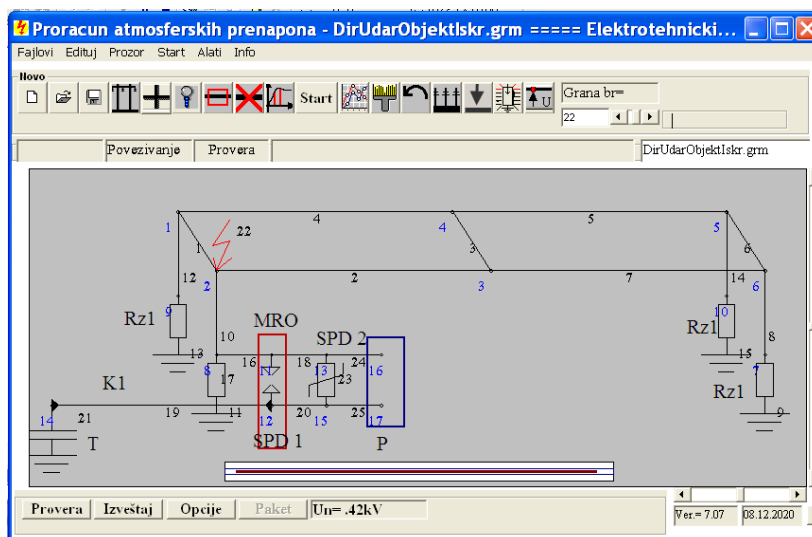
SLIKA 5: JEDNOPOLNA ŠEMA - NAPAJANJE OBJEKTA OD STUBA ISPRED OBJEKTA BEZ I SA PRIMENOM OSIGURAČA O NA STUBU

Osigurač na stubu bi u slučaju preskoka u MRO kao posledice atmosferskog pražnjenja, pregoreo i sprečio pojavu električnog luka i eventualnog požara. Nezgodna strana primene osigurača na stubu je što kada dođe do pregorevanja osigurača, neophodan je dolazak ekipe na teren radi zamene osigurača, što ostavlja potrošača izvesno vreme bez napajanja, a sa druge strane traži angažovanje ekipa za teren, vozila i ljudi, pa se zbog toga izbegava.

Prenaponski zaštitni uređaji koji se ugrađuju u MRO veoma efikasno štite objekte od atmosferskih prenapona, onemogućavajući preskok u MRO. Nažalost, tehnička regulativa u našoj zemlji nije osavremenjena i ne definiše kako i pod kojim uslovima treba uređaje prenaponske zaštite staviti, niti postoji bilo koja odredba po kojoj postoji obaveza postavljanja takvih uređaja. Ugradnja ovakvih uređaja bi značajno smanjila rizik od požara uslovljen atmosferskim pražnjenjem.

DIREKTNI UDAR U GROMOBRANSKU INSTALACIJU OBJEKTA

Veoma je važan slučaj kada se objekat napaja kablovskim vodom, a do atmosferskog pražnjenja dolazi u prihvatni sistem gromobranske instalacije objekta. Ovaj slučaj preporuka [10] ne obuhvata. Na slici 6 dat je ekranski prikaz zamenske šeme prenaponske zaštite objekta. Pretpostavljen je ukupan otpor rasprostiranja uzemljivača objekta $R_z=2.5 \Omega$. Parcijalni otpori sa kojima su rađeni proračuni koncentrisani su na uglovima objekta i iznose $R_{z1}=4 \times R_z = 10 \Omega$.



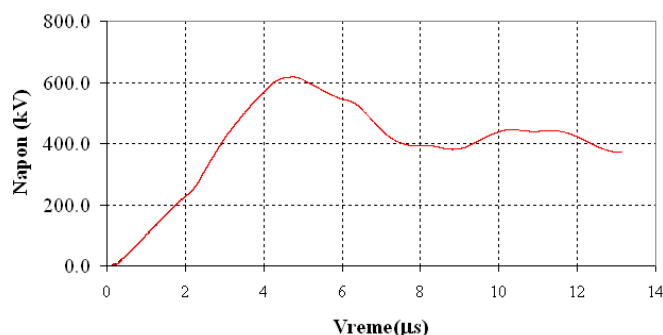
SLIKA 6: EKRANSKI PRIKAZ ZAMENSKE ŠEME GROMOBRANSKE INSTALACIJE I NAPOJNOG SISTEMA

Oznake na slici 6 imaju sledeće značenje: T – energetski transformator 20/0.4 kV, K1 – 0.4 kV kabl dužine 90 m, MRO- merno-razvodni orman čije je kućište uzemljeno, SPD 1- prenaponska zaštita pomoću iskrišta u MRO, SPD 2 – prenaponska zaštita na bazi varistora, Rz1 – parcijalne otpornosti uzemljenja pojedinih spusteva.

Proračuni su urađeni za varijantu kada se uopšte ne primenjuje prenaponska zaštita, kada se primenjuje samo u MRO zaštita tipa 1 i kada se primenjuje na 2 m od potrošača SPD zaštita tipa 2.

Na slici 7 prikazan je talasni oblik napona prema zemlji u čvoru 16 kada nema nikakve prenaposke zaštite.

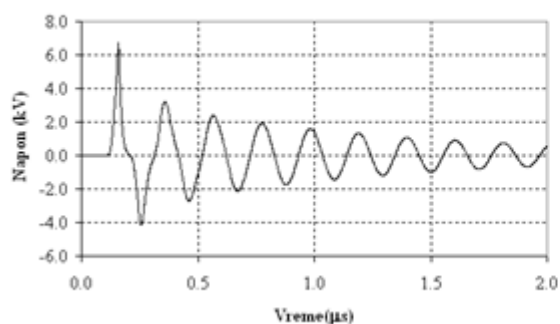
Udar u prihvatni sistem bez zaštite-napon prema zemlji



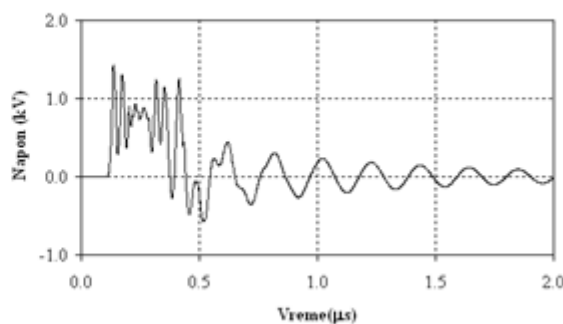
SLIKA 7: NAPON FAZE PREMA ZEMLJI NA POTROŠAČU (ČVOR 16) KADA NEMA ZAŠTITE

Na slici 8 prikazan je napon između faze i neutralnog provodnika kada postoji samo SPD 1 na bazi iskrišta (levo) i kada postoji SPD 1 i SPD 2, u MRO i uz potrošača, respektivno.

Udar u prihvatni sistem, SPD 1



Udar u prihvatni sistem, SPD 1 i SPD 2



SLIKA 8: TALASNI OBLICI NAPONA KADA SE PRIMENJUJE SAMO SPD 1 (LEVO) I KADA SE PRIMENJUJU SPD 1 I SPD 2 (DESNO)

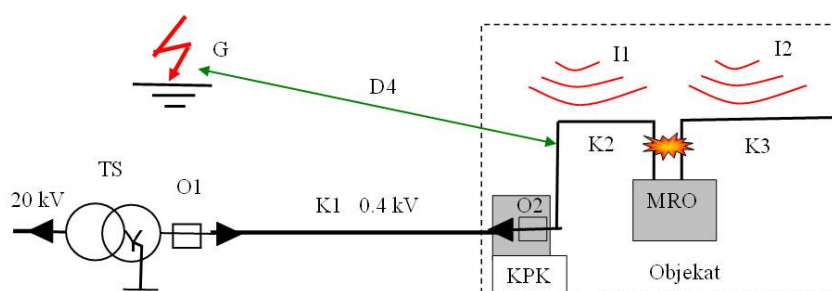
Može se uočiti da je za zaštitu potrošača neophodna primena prenaponskog zaštitnog uređaja na bazi varistora SPD 2 koji snižava napon na bezbednu vrednost. Prema preporukama [10] podnosivi udarni napon za potrošače naznačenog napona 230 V koji nisu previše osetljivi bira se 2500 V oblika 1.2/50 μ s. Za osetljivije potrošače bira se podnosivi atmosferski udarni napon 1500 V istog oblika.

INDUKOVANI PRENAPONI NA UNUTRAŠNJOJ INSTALACIJI

Kratak opis događaja i opis sistema

Ova analiza nastala je na bazi veštačenja o uzroku požara na jednom industrijskom objektu. Požar je nastao u toku jake grmljavinske nepogode.

Objekat se napaja kablom iz transformatorske stanice (TS) 20/0.4 kV koja je udaljena oko 90 m od objekta. Koristi se podzemni četvorožilni kabl 0.4 kV do KPK u kojoj se nalaze topljivi osigurači 160 A. Iz KPK vode se po kablovskim regalima kablovi na visini od 10 m do MRO i nastavljaju dalje regalima do potrošača. Kompletna skica napajanja od TS 20/0.4 do instalacija 0.4 kV u analiziranom objektu, kao i elektromagnetni uticaj atmosferskog udara na instalaciju u objektu prikazani su na Slici 9.



SLIKA 9: KOMPLETNA SKICA NAPAJANJA OD TS20/0.4 I INSTALACIJA 0.4 KV U ANALIZIRANOM OBJEKTU

Oznake na slici 9 su:

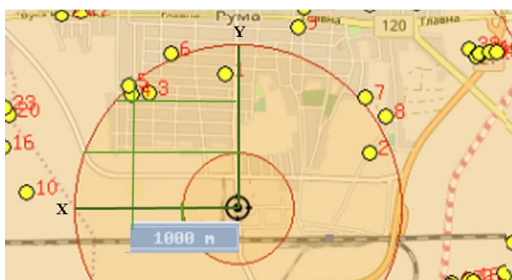
- G - Atmosfersko pražnjenje u zemlju na udaljenosti D4 od objekta,
- O1 - topljivi osigurači od 200 A u transformatorskoj stanici 20/0.4 kV,
- K1 - kabl 0.4 kV dužine 90 m do kućnog priključka,
- KPK - kabloska priključna kutija,
- O2 - topljivi osigurači od 160 A u KPK,
- K2 - Provodnici unutrašnje instalacije 0.4 kV na kablovskim regalima do merno-razvodnog ormana,
- K3 - Provodnici unutrašnje instalacije 0.4 kV na kablovskim regalima od merno-razvodnog ormana do pogona,
- MRO - merno-razvodni orman,
- I1 i I2 - Simbolično označene deonice na kojima se indukuje napon,
- D4 – rastojanje mesta pražnjenja od objekta (1339 m).

Na provodnicima K2 i K3 se indukuju prenaponi koji su izazvali preskok ispred MRO. Pošto se događaj dogodio u toku noći, smatra se da nije bilo nikakvog opterećenja na kraju provodnika K3. Proboj izolacije između faznog i neutralnog prvodnika inicirao je požar. Kratak spoj nije izazvao brzo topljenje osigurača u KPK zbog velike impedanse petlje, tako da je došlo do paljenja izolacije kabla, razvoja električnog luka i mogućeg pada zapaljene izolacije ili istopljenih metalnih kapljica na zapaljivu kartonsku ambalažu koja se nalazila ispod kablovskog regala, pre nego što je došlo do pregorevanja osigurača O2 u KPK.

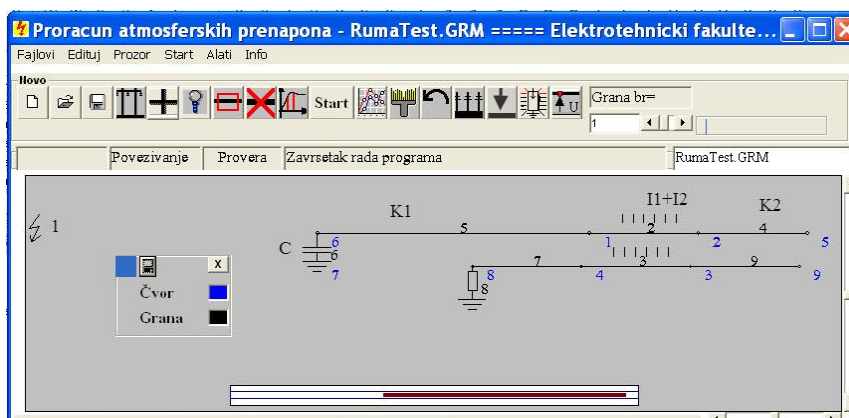
Proračun na osnovu postojećeg stanja

Za detaljnu i što precizniju analizu, neophodni su podaci o broju i lokacijama udara groma na širem području na kome se objekat nalazi. Da bi se izvršila simulacija indukovanih prenapona usled atmosferskih udara korišćen je sistem za lociranje atmosferskih pražnjenja "SCALAR" koji je deo evropskog sistema EUCLID, što predstavlja skraćenicu od "European Cooperation for Lightning Detection". Sistem SCALAR je počeo sa radom 1997 godine i sada ima instalirane senzore u svim zemljama regiona. U našoj zemlji instalirana su 2 senzora, dok se pokrivenost celokupne teritorije Republike Srbije obezbeđuje i uz pomoć senzora instaliranih u susednim zemljama. Na Slici 10 prikazan je deo mape područja sa centrom u oštećenom objektu i označenim krugovima poluprečnika 500 m i 1500 m.

Za analizu, odabran je udar broj 3, amplitude 23.1 kA, koji se nalazi na rastojanju od 1339 m od oštećenog objekta. Strmina struje atmosferskog pražnjenja je usvojena 37 kA/ μ s. Na Slici 11, prikazana je zamenska šema, korišćena za proračune [4].



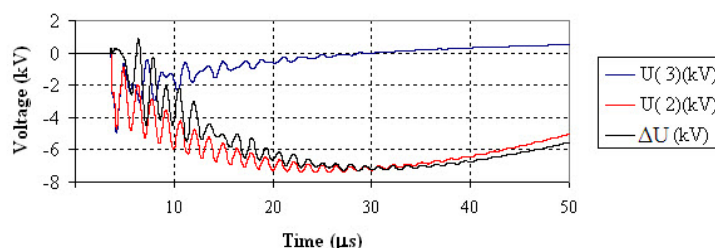
SLIKA 10: DEO REZULTATA REGISTRACIJE ATMOSFERSKIH PRAŽNjenja U OKOLINI ANALIZIRANOG OBJEKTA



SLIKA 11: EKRANSKI PRIKAZ ZAMENSKE ŠEME KOJA JE KORIŠĆENA ZA PROCENU INDUKOVANIH PRENAPONA

Za proračune je važan podatak o kapacitivnosti namotaja transformatora u TS 20/0.4 kV. Usvojena je vrednost od 2 pF [1]. Dužina faze po kojoj se indukuje napon je 40 m. Na osnovu zamenske šeme, koja je formirana u programu GROM [4], dobijeni su rezultati prikazani na Slici 12. Prikazani su talasni oblici napona na fazi U(2) i na neutralnom provodniku U(3) u tačkama 2 i 3, kao i razlika ova dva napona ΔU . Maksimalne vrednosti prenapona su date u Tabeli 2.

Indukovani prenaponi



SLIKA 12: TALASNI OBLICI NAPONA NA FAZI U(2) I NA NEUTRALNOM PROVODNIKU U(3), KAO I RAZLIKA OVA DVA NAPONA ΔU

TABELA 2: MAKSIMALNI PRENAPONI NA FAZONOM PROVODNIKU $U_{MAX}(2)$, NEUTRALNOM PROVODNIKU $U_{MAX}(3)$ I NJIHOVA RAZLIKA ΔU [KV]

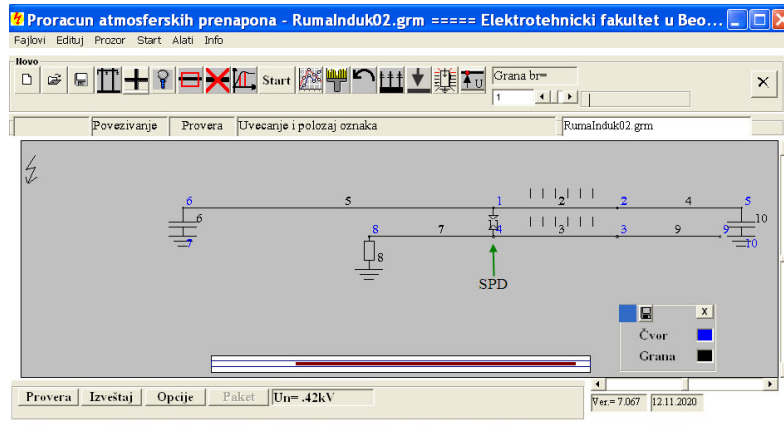
$U_{max}(2)$ [kV]	$U_{max}(3)$ [kV]	ΔU [kV]
4.95	7.40	7.33

Može se zaključiti da je maksimalna razlika napona između faznog i neutralnog provodnika 7.33 kV, što je više od podnosivog napona faznog provodnika koji iznosi 6 kV. Ovaj prenapon može da ugrozi i ošteti izolaciju.

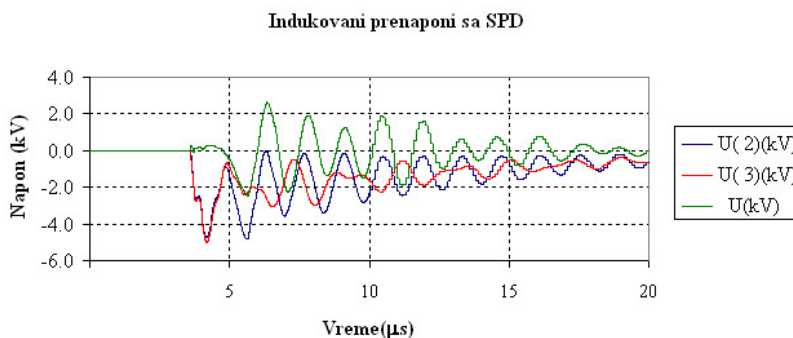
Primena zaštitnih mera

U zaštitne mere od uticaja atmosferskog pražnjenja ubrajaju se zaštita od direktnog udara i zaštita od elektromagnetnih impulsa nastalih pražnjenjem u okolinu objekta.

Na slici 13 dat je ekranski prikaz šeme sa identičnim mestom pražnjenja kao na slici 11, samo su u ovom slučaju u KPK postavljeni prenaponski zaštitni uređaji na bazi iskrišta. Izabran je element tipa 1. Po pravilu uređaji na bazi iskrišta sposobni su da provode veće struje, odnosno podnesu veću energiju, ali sporije reaguju. Rezultati proračuna talasnih oblika indukovanih prenapona na faznom provodniku U(2), neutralnom provodniku U(3) i razlika ova dva napona ΔU prikazani su na Slici 14, dok su maksimalne vrednosti prenapona u pomenutim tačkama prikazane tabelarnonu Tabeli 3.



SLIKA 13: EKRANSKI PRIKAZ ZAMENSKE ŠEME KOJA JE KORIŠĆENA ZA PROCENU INDUKOVANIH PRENAPONA KADA SE PRIMENJUJE SPD TIPA 1



SLIKA 14: TALASNI OBLICI NAPONA NA FAZI U(2) I NA NEUTRALNOM PROVODNIKU U(3), KAO I RAZLIKA OVA DVA NAPONA ΔU KADA SE PRIMENJUJE SPD TIPA 1

TABELA 3: MAKSIMALNI PRENAPONI NA FAZnom PROVODNIKU $U_{max}(2)$, NEUTRALNOM PROVODNIKU $U_{max}(3)$ I NJIHOVA RAZLIKA ΔU KADA SE PRIMENJUJE SPD TIP 1 [kV]

$U_{max}(2)$ [kV]	$U_{max}(3)$ [kV]	ΔU_{max} [kV]
4.82	5.0	2.51

Može se uočiti da su maksimalni prenaponi na najudaljenijem kraju instalacije niži od podnosivog napona, koji je 6 kV. Ovaj proračun je urađen pri relativno maloj struji pražnjenja na velikoj udaljenosti od objekta, koji je registrovan tokom grmljavinskog nevremena.

Rezultati statističkog proračuna

Statistički proračun se vrši na taj način što se mesto pražnjenja varira duž ose paralelne sa osom provodnika na kome se izračunava indukovani prenapon. Statističkim proračunom prema metodi opisanoj u [1, 9], varirajući strminu struje od $3.9 \text{ kA}/\mu\text{s}$ do $37.5 \text{ kA}/\mu\text{s}$, metodom opasnih parametara, izvršen je proračun srednjih brojeva godina bez kvara MTBF (engl. Mean Time Between Failures), kada su korišćene različite kombinacije SPD uređaja. Uobičajeno se usvaja da za važne objekte (energetski transformatori), MTBF mora da bude veće od 600 god, a za manje važne objekte iznad 200 god. U Tabeli 4 prikazani su rezultati statističkog proračuna rizika

da li će napon na faznom i neutralnom provodniku prevazići podnosivi napon energetskog transformatora (tačka 6), podnosivi napon na kraju faznog provodnika unutar objekta (tačka 5) i na neutralnom provodniku na istom mestu (tačka 9). Kada se primeni prenaponska zaštita, napon između F i N je u dozvoljenim granicama.

TABELA 4: STATISTIČKI PRORAČUN KADA NEMA PRENAPONSKE ZAŠTITE, KADA SE KORISTI SPD TIPA 1 ILI TIPA 2

	MTBF (6) (god)	MTBF (5) (god)	MTBF (9) (god)
Bez SPD	33.85	4.89	3.66
Sa SPD1	563.69	5.20	3.66
Sa SPD1+SPD2	∞	27.80	63.9

Može se uočiti da primena prenaponskih zaštitnih uređaja ne može pouzdano da zaštiti izolaciju prema zemlji unutar objekta. Zaštita od indukovanih prenapona na instalacijama unutar objekta, koji je od neprovodnih materijala, može se vršiti primenom kablova sa metalnim ekranom, koji je uzemljen u KPK i vezan za šinu za izjednačenje potencijala u MRO i povezivan sa zaštitnom zemljom.

ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza atmosferskih prenapona na objektima u slučajevima kada se uopšte ne koriste prenaponski zaštitni uređaji, kada se koriste samo na ulazu u objekat i kada se koristi dodatna zaštita uz oseljive potrošače. Pokazano je da je zaštitu potrebno sprovoditi kada se napajanje objekta vrši iz nadzemne mreže i kada se objekat napaja podzemnim kablom. U slučaju kablovskog napajanja ugroženost niskonaponskih instalacija postoji zbog mogućih atmosferskih udara u gromobranski prihvatni sistem na objektu i visokih prenapona koji se tom prilikom pojavljuju na uzemljivačkom sistemu. Stoga se preporučuje primena prenaponskih zaštitnih uređaja u kablovskim priključnim kutijama ili u merno-razvodnim ormanima. U radu je naglašena važnost izbora osigurača, tako da ako se desi da na objektu dođe do kratkog spoja ispred osigurača u MRO, tada mora da postoji osigurač koji može da isključi kratak spoj ili na stubu ispred objekta ili na izvodu napojnog voda.

Pokazano je da indukovani prenaponi usled udara u okolini objekta izazivaju prenapone, koji mogu da budu opasni za izolaciju čak i u slučaju relativno dalekih udara zbog niskog podnosivog napona izolacije niskonaponskih instalacija. Ukazana je prednost sistema za lociranje atmosferskih pražnjenja pri ekspertizama uzroka požara.

Nepohodno je osavremeniti Tehničku preporuku EPS Distribucije tako da poglavlje o zaštiti od prenapona bude usaglašeno sa međunarodnim standardima koji su usvojeni od Instituta za standardizaciju Srbije kao domaći standardi.

LITERATURA

- [1] Savić M., Stojković Z., Tehnika visokog napona – atmosferski prenaponi, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, drugo izdanje, Beograd 2001
- [2] Standard SRPS EN 62305-1, Zaštita od atmosferskog pražnjenja – Deo 1: Opšti principi, 2016 god.
- [3] IEC 60071-4 Insulation co-ordination: Computational guide to insulation co-ordination and modeling of electrical networks, First edition 2004
- [4] Savić M., GROM-sofverski paket za proračun atmosferskih prenapona, Interno korisničko uputstvo za verziju 6.87, god 2014.
- [5] ATP - EMTP: Bonneville Power Administration (BPA) and the Electric Power Research Institute (EPRI) Electro Magnetic Transient Program (EMTP) and ATPDraw –Alternative Transient Program (ATP) graphical pre-processor Copyright. (e-mail: canam@emtp.org), (www.eeug.org)
- [6] HERMI d.o.o, katalog, Prenaponska zaštita, 2020.
- [7] V. Javor, L. Stoimenov, N. Džaković, N. Dinkić, D. Javor, Hans-Dieter Betz: LINETGIS Analysis of Lightning Flash Density in Serbia Based on Ten Years Data, SERBIAN JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING Vol. 15, No. 2, June 2018, 201-211.
- [8] M. S. Savić, Z. Stojković: Ugroženost niskonaponske mreže od atmosferskih prenapona, JUKO CIRED, Drugo Savetovanje, Herceg Novi septembar 2000, R-2.11.
- [9] M. S. Savić: Medium Voltage Distribution Systems Lightning Performance Estimation, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, July 2003
- [10] Tehnička preporuka br.13, (TP 13), Priključci na niskonaponsku mrežu i električne instalacije u zgradama, EPS Distribucija, II izdanje, Septembar 1998.

[11] Standard SRPS EN 62305-2, Zaštita od atmosferskog pražnjenja – Deo 2:Upravljanje rizikom, 2017 god.

[12] Standard SRPS EN 62305-4, Zaštita od atmosferskog pražnjenja – Deo 4: Električni i elektronski sistemi u objektima, 2016 god.

[13] IEC 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests, Edition 2.0, 2007-04.