

Dodatak H

Požar usled indukovanih prenapona

H.1 Kratak opis događaja i opis sistema

U ovom primeru opisan je stvarni događaj kada je izbio požar na jednom industrijskom objektu u toku jake grmljavinske nepogode. Zbog veštačenja je bilo neophodno pokazati da je pojava indukovanih prenapona mogući uzrok iniciranja požara. Objekat u kome je izbio požar se napaja iz transformatorske stanice (TS) 20/0.4 kV podzemnim kablom dužine od oko 90 m. Na spoljašnjem zidu objekta se nalazi kablovska priključna kutija (KPK) u kojoj se nalaze topljivi osigurači 160 A. Iz KPK se vode po kablovskim regalima kablovi na visini od 10 m unutar fabričke hale do merno razvodnog ormana (MRO) i nastavljaju dalje po regalima do potrošača. Ispod regala po kojima su vođeni kablovi nalazio se zapaljiv materijal za ambalažu.

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 izgleda kao na slici H.1.

Oznake na slici H.1 imaju sledeće značenje:

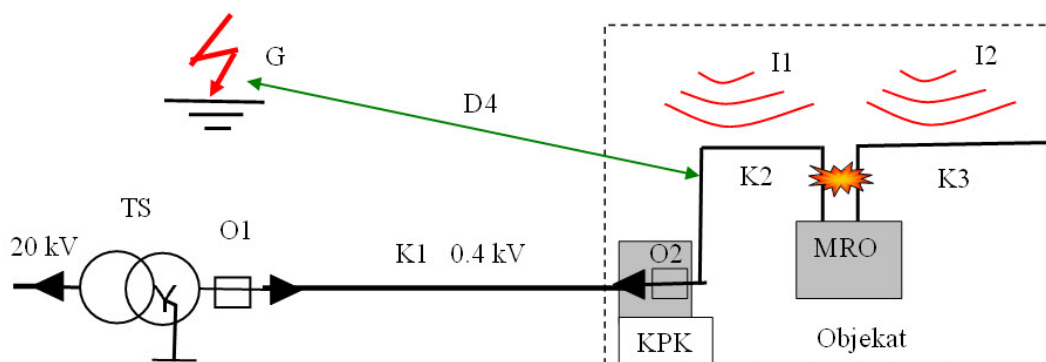
G - Atmosfersko pražnjenje u zemlju na udaljenosti D_4 od objekta,

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 -kablovska priključna kutija,

O2 - topljivi osigurači od 160 A u KPK,



Slika H.1: Kompletna slika napajanja od TS 20/0.4 kV do instalacija 0.4 kV unutar objekta i delovanje indukovanih prenapona

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,

D4 - Udaljenost mesta udara groma od provodnika na kojima se indukuje napon,

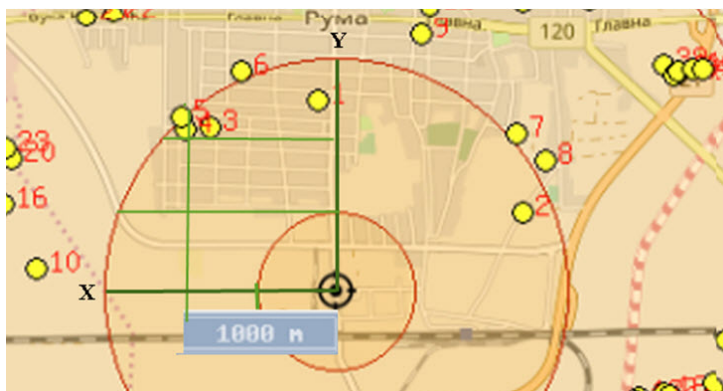
I1 i I2 - Simbolična oznaka deonice na kojima se indukuju prenaponi.

Na provodnicima K2 i K3 se indukuju prenaponi koji su izazvali preskok ispred MRO. Pošto se događaj desio u toku noći, smatra se da nije bilo nikakvog opterećenja na kraju provodnika K3.

H.2 Hipoteza o nastanku požara

Požar je iniciran na kablovskim regalima unutar objekta. Predpostavlja se da je do proboja izolacije koji je inicirao požar došlo između faznog i neutralnog provodnika. Nije bilo moguće da se probije zajednički izolacioni omotač oko sva tri fazna i neutralnog provodnika prema uzemljenom regalu, jer je spoljašnji izolacioni sloj na kablu znatno veće debljine od izolacije pojedinačnih faznih provodnika i neutralnog provodnika. Kratak spoj između faznog provodnika i neutralnog provodnika 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 delova zapaljive izolacije ili istopljenih metalnih kapljica na zapaljivu kartonsku ambalažu koja se nalazila ispod kablovskog regala.

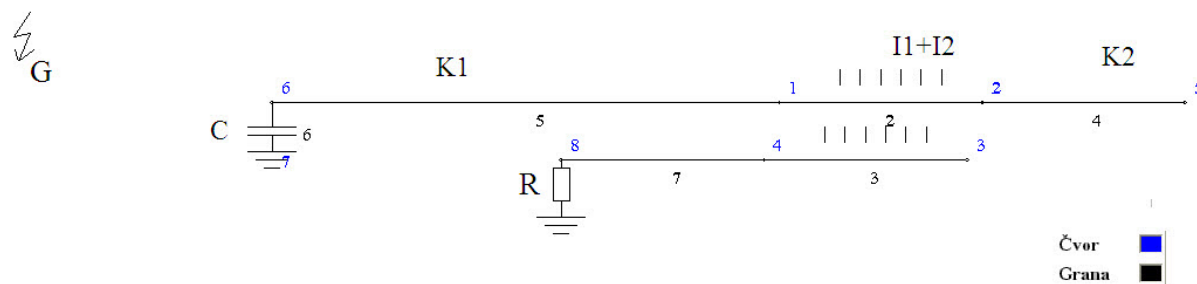
Da bi se izvršila simulacija indukovanih prenapona usled atmosferskih udara korišćeni su rezultati registracije sistema za lokaciju pražnjenja "SKALAR" koji je deo evropskog sistema **EUCLID** koji predstavlja skraćenicu od "European Cooperation for Lightning Detection". Sistem SCALAR je počeo sa radom 1997 god i sada ima instalirane senzore u svim zemljama regiona. U našoj zemlji se koriste 2 senzora, dok je treći senzor u BiH. Na slici H.2 prikazan je deo mape područja sa centrom u oštećenom objektu i označenim krugom poluprečnika 1000 m.



Slika H.2: Deo rezultata registracije atmosferskih pražnjenja u okolini analiziranog objekta

Odabran je udar broj 3 sa slike H.2, sa izmerenom amplitudom struje 51 kA, koji se nalazi na rastojanju od 960 m od oštećenog objekta. Strmina struje atmosferskog pražnjenja je usvojena $37 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Na slici H.3 dat je ekranski prikaz zamenske šeme koja je korišćena za procenu indukovanih prenapona. Za proračun je korišćen program GROM sopstvene izrade, sa teorijskim objašnjenjem metode date u poglavlju 9.



Slika H.3: Ekranski prikaz zamenske šeme koja je korišćena za procenu indukovanih prenapona

Oznake na slici H.3 imaju sledeće značenje:

G -mesto atmosferskog udara,

- 2** -fazni provodnik na kome se indukuje napon između čvorova **1** i **2**,
- 3** -neutralni provodnik na kome se indukuje napon između čvorova **4** i **3**,
- 4, 5** -fazni provodnici podzemnih kablova između tačaka **2** i **5**, odnosno **6** i **1**, na kojima nema indukovanja napona,
- 7** -neutralni provodnik kabla između tačaka **8** i **4**, na kome nema indukovanja napona,
- C** - kapacitivnost namotaja transformatora u TS 20/0.4 kV,
- R** - Otpornost uzemljenja koja je pretpostavljena da iznosi 5Ω .

Iako su na zamenskoj šemi fazni provodnik i neutralni provodnik razdvojeni, njihove koordinate u programu su identične. Do razlika u naponima na faznom i neutralnom provodniku nastaje zbog toga što je fazni provodnik na jednom kraju vezan za kondenzator, koji reprezentuje ulaznu kapacitivnost transformatora, a neutralni provodnik je na istom kraju uzemljen. Induktivitet namotaja transformatora se zanemaruje zbog toga što na učestanostima prelaznog režima usled atmosferskog pražnjenja induktivna impedansa transformatora je praktično premošćena kapacitivnom admitansom.

Podaci o parametrima udara i elementima šeme dati su u tabeli H.1

Parametri neutralnog provodnika su identični parametrima faznog provodnika.

Pri proračunu su sledeći parametri usvajani:

- uticaj metalnih regala, za koje se ne zna da li su uzemljeni ili ne,
- usvojena je nepoznata strmina talasa,
- procenjene su dužine provodnika koje su izložene uticaju indukovanih prenapona.

Maksimalne absolutne vrednosti izračunatih napona prikazane su u tabeli H.2.

Na slici H.4 prikazani su talasni oblici napona na fazi **U(2)** i na neutralnom provodniku **U(3)**, kao i razlika ova dva napona $\Delta U(23)$.

Može se zaključiti da je maksimalna razlika napona između faznog i neutralnog provodnika 31.6 kV. Prenapon je viši od podnosivog napona koji je usvojen da iznosi 6 kV i znači da prenapon može da ugrozi izolaciju između faze i neutralnog provodnika u instalacionim kablovima na regalima u objektu i da izazove požar.

Tabela H.1: Podaci o parametrima udara i elementima šeme

Br.	Opis	oznaka	vrednost
1	Amplituda struje pražnjenja	$I_{max}(kA)$	51
2	Strmina struje pražnjenja	$S(kA/\mu s)$	37
3*	Trajanje začelja struje pražnjenja	$T(\mu s)$	72
4*	Relativna brzina povratnog udara u odnosu na brzinu svetlosti	β (rj)	0.3
5*	Visina oblaka	H (km)	3
6	Udaljenost po X osi do levog početka faze	X(m)	-150
7	Udaljenost po Y osi do faze	Y(m)	948
8	Udaljenost mesta udara od levog početka provodnika	$D4 = \sqrt{X^2 + Y^2}$	960
9	Dužina faze po kojoj se indukuje napon	$I1+I2$ (m)	40
10	Karakteristična impedansa faze i neutralnog provodnika u objektu (grane 2, 3, 4 i 9)	Z_c (Ω)	507
11	Dužina kabla od TS do KPK	K1 (m)	90
12	Karakteristična impedansa faze kabla	Z_c Ω	40
13	Duzina kabla iza provodnika sa indukovanjem	K2(m)	40
14	Kapacitivnst namotaja transformatora	C(pF)	3
15	Visina provodnika na kome se indukuje napon	h(m)	10

Napomena: Veličine označene zvezdicom * uz redni broj elementa nemaju bitnog uticaja na rezultate proračuna.

Tabela H.2: Maksimalni prenaponi na faznom provodniku $U_{max}(2)$, neutralnom provodniku $U_{max}(3)$ i njihova razlika ΔU

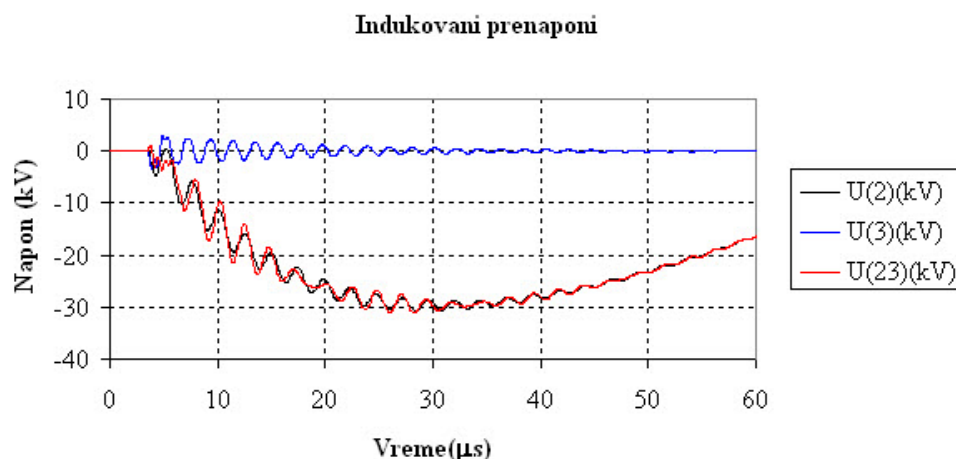
$U_{max}(2)(kV)$	$U_{max}(3)(kV)$	$\Delta U_{max}(kV)$
30.6	3.52	31.6

H.3 Primena zaštitnih mera

U zaštitne mera od uticaja atmosferskog pražnjenja spada zaštita od direktnog udara i zaštita od elektromagnetnih impulsa nastalih pražnjenjem u okolinu objekta. U ovom primeru težište je zaštita od indukovanih uticaja atmosferskog pražnjenja.

Za zaštitu elektroenergetskih električnih instalacija od atmosferskih prenapona najvažnija mera koja se primenjuje je izjednačenje potencijala koja se vrši na dva načina:

- Primena prenaponskih zaštitnih uređaja (SPD - skraćeno od engleskog Surge Protective Devices), koji u slučaju prenapona reaguju i ograničavaju potencijalnu razliku između delova električne instalacije na različitim potencijalima,



Slika H.4: Talasni oblici napona na fazi **U(2)** i na neutralnom provodniku **U(3)**, kao i razlika ova dva napona

- Povezivanje svih metalnih masa koje bi trebalo da su na potencijalu zemlje, najkraćom vezom.

Prema ugroženosti od delovanja atmosferskih udara se definišu se zone zaštite (LPZ od engleskog Lightning Protection Zone). Zona LPZ 0 definiše prostor u kome ne postoji nikakva zaštita, LPZ 1 je prostor koji se štiti najgrubljom prenaponskom zaštitom, itd.

Prenaponski zaštitni uređaji SPD se postavljaju na granicama zona zaštite. U slučaju razmatranog objekta prelazak iz zone LPZ 0 u LPZ 1 je kablovska priključna kutija.

Prenaponski zaštitni uređaji se dele na tri vrste:

- SPD sa naponskim obaranjem (naglim smanjenjem napona), baziran na delovanju iskrišta, gasnih odvodnika i slično. Po pravilu su ovi uređaji sposobni da provode veće struje, odnosno podnesu veću enegiju, ali sporije reaguju. Zovu se još i odvodnici struje. U klasifikaciji se svrstavaju u SPD tipa 1,
- SPD sa naponskim ograničenjem, baziran na delovanju varistora ili prenaponskih dioda. Ovi uređaji brže reaguju, sposobni su da ograniče napon na nižu vrednost, ali su energetski i strujno manje izdržljivi. U klasifikaciji se svrstavaju u SPD tipa 2.
- Kombinovan SPD sadrži oba tipa komponenti. U klasifikaciji se svrstavaju u SPD tipa 1+2.

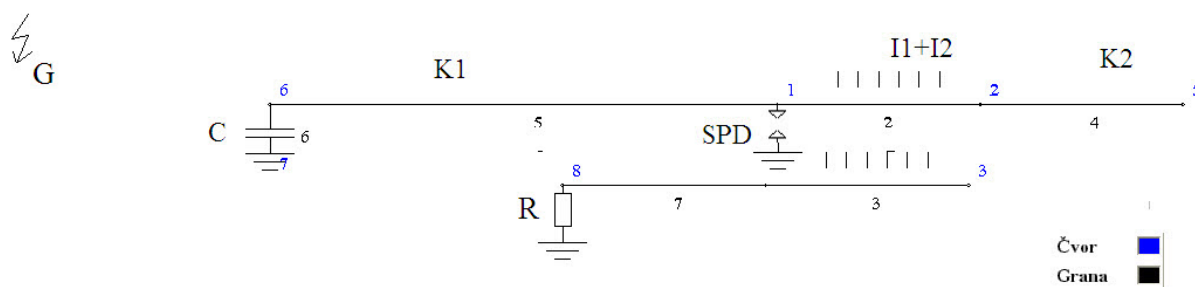
Na slici H.5 dat je ekranski prikaz šeme sa identičnim mestom pražnjenja kao na slici H.3, kada su u kablovskoj priključnoj kutiji (KPK) postavljeni odvodnici struje na

bazi iskrišta. Karakteristike predloženog zaštitnog uređaja na osnovu kataloga su date u tabeli H.3.

Tabela H.3: Karakteristike primenjenog prenaponskog zaštitnog uređaja

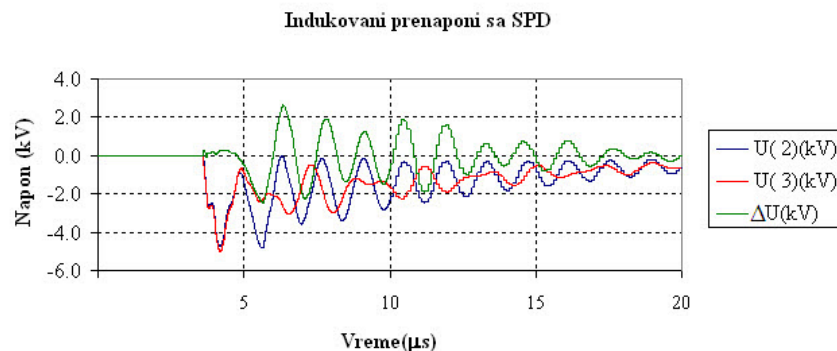
Maksimalni radni AC napon	U_C (V)	255
Amplituda udarne struje oblika (10/350) μ s	I_{ud} (kA)	50
Podnosivi privremeni prenapon (TOV)	U_T (V)	440
Zaštitni nivo pri atmosferskoj udarnoj struji	U_P (kV)	1.3
Sposobnost prekidanja propratne struje pri naponu U_C	I_F (kA)	12

Napon U_C predstavlja trajni radni napon za SPD.



Slika H.5: Ekranski prikaz zamenske šeme koja je korišćena za procenu indukovanih prenapona kada se primenjuje SPD

Rezultati proračuna talasnih oblika indukovanih prenapona na faznom provodniku $U(F)$, neutralnom provodniku $U(N)$ i razlika ova dva napona ΔU kada se primenjuju SPD u KPK prikazani su na slici H.6.



Slika H.6: Talasni oblici napona na fazi **U(2)** i na neutralnom provodniku **U(3)**, kao i razlika ova dva napona u prisustvu SPD

Maksimalne vrednosti po absolutnoj vrednosti izračunatih napona prikazane su u tabeli H.4.

Tabela H.4: Maksimalni prenaponi na faznom provodniku $U_{\max}(F)$, neutralnom provodniku $U_{\max}(N)$ i njihova razlika ΔU_{\max} u prisustvu prenaponskih zaštitnih uređaja

$U_{\max}(F)$	$U_{\max}(N)$	ΔU_{\max}
4.82	5	2.51

Može se uočiti da su maksimalni prenaponi na najudaljenijem kraju instalacije niži od podnosivog napona, koji je 6 kV.