

Analiza ugroženosti trofaznih vodova

Kada se analizira ugroženost visokonaponskih vodova od atmosferskih prenapona, tada je od interesa određivanje godišnjeg broja jednopolnih kvarova koji se mogu eliminisati tehnikom brzog automatskog ponovnog uključanja APU koje većina potrošača ne oseća i broja dvopolnih ili trolnih zemljospojeva, koji se trolno isključuju i predstavljaju prekid napajanja. Takođe je od interesa da li postoji mogućnost preskoka na rasponu u slučaju voda sa dugim rasponima.

399

Na rasponu se preskok modeluje tačno na mestu atmosferskog udara kratkim vodom koji simulira kanal luka koji je jednak rastojanju u vazduhu između provodnika na red sa iskrištem. Predpostavka je da će preskok na rasponu nastati upravo na mestu udara atmosferskog pražnjenja zbog intenzivnih jonizacionih procesa na tom mestu. Zbog toga se model pojednostavljuje, jer se pri analizi variranja lokacije pražnjenja sinhronizovano varira i mesto preskoka na rasponu. Na slici je model preskoka na rasponu modelovan sledećim granama:

$Z - Z_A$, $A - A_B$, $B - B_C$ - grane koje modeluje dužinu luka koja je jednaka rastojanju između zaštitnog užeta i faze A, između faza A i B i između B i C na rasponu mestu udara u zaštitno uže.

$Z_A - A$, $A_B - B$, $B_C - C$ - iskrište koje modeluje preskok između zaštitnog užeta i faze A, preskok između faze A i faze B i preskok između faze B i faze C na mestu atmosferskog udara u zaštitno uže.

Obično su rastojanja između provodnika toliko mala u odnosu na dužine raspona da se modeluju kratkim vodom koji je jednak karakterističnoj impedansi faznog provodnika, a dužina odgovara vremenu prostiranja po vodu koje je jednako jednom vremenskom koraku proračuna.

$$L_{Luka} = \Delta t \times v_o \quad (11.1)$$

gde je:

L_{Luka} - dužina razmaka između provodnika,

Δt - elementarni korak proračuna,

v_o - brzina svetlosti u vakuumu (vazduhu)

Karakteristična impedansa luka je promenljiva veličina koja ima neznatan uticaj na rezultate proračuna, pa se radi jednostavnosti izjednačuje sa karakterističnom impedansom faznog provodnika. Model bi se mogao i pojednostaviti bez te grane, ali je najčešće fizika procesa takva da se preskok kaskadno širi na sve tri faze. Iz tog razloga se može smatrati da je dužina luka za sve razmake između provodnika u većini slučajeva jednaka:

$$L_{Luka} = Z - Z_A = A - A_B = B - B_C = B_C - C \quad (11.2)$$

Do preskoka može da dođe sa mnogo većom verovatnoćom na izolatorima na stubovima, jer su preskočna rastojanja mnogo manja nego na rasponu. Za razmatrani slučaj nadzemnog voda sa vertikalnim rasporedom provodnika (stubovi tipa "jela" kod jednosistemskih ili tipa "bure" kod dvosistemskih vodova), ukupan broj preskočnih mesta je 2 x 3 preskočna mesta na izolatorima na stubovima koji se nalaze na krajevima posmatranog

raspona i 3 preskočna mesta na rasponu. U slučaju dvosistemskih vodova, na stubovima se posmatraju samo 3 izolatora na kojima može da dođe do preskoka, jer je drugi sistem potpuno simetričan. Prilikom variranja mesta udara menja se potrebna struja pražnjenja koja izaziva preskok na pojedinim mestima.

Kriterijum preskoka je kada nastupi prvi preskok prema određenoj fazi. Ukoliko je udar blizu stuba, sigurno je da će preskok nastupiti na izolaciji stuba, jer je tu daleko niži preskočni napon zbog manjeg preskočnog rastojanja nego na rasponu. U tom trenutku se registruje presko n toj fazi. Međutim, ako se udar događa na rasponu, tada se može desiti da preskok nastupi pre na rasponu nego na stubovima zbog toga što nakon udara polovina struje pražnjenja ide prema svakom od stubova na krajevima raspona. U tom slučaju se tretira da je prvi preskok na rasponu prema određenoj fazi.

U slučaju vodova sa horizontalnim rasporedom provodika dovoljno je razmatrati samo dva provodnika (jedan bočni i srednji), jer je drugi bočni provodnik pod identičnim uslovima, pa će na njemu nastupati preskok u isto vreme kada i na prvom bočnom provodniku zbog simetrije.

11.2 Metoda opasnih parametra trofaznog voda

Kreiranje krive opasnih parametra parametra atmsferskog pražnjenja (LLP-od engl. Lightning Limiting Parameters) zasniva se na pretpostavci da se čelo talasa struje atmosferskog pražnjenja može aproksimirati linearno rastućom funkcijom koja ima strminu S (kA/ μ s) u tacki pražnjenja. Struja u funkciji vremena na mestu pražnjenja ima vrednost:

$$i(t) = S \times t \quad (11.3)$$

gde je:

$i(t)$ -struja atmosferskog pražnjenja u kanalu groma,

S -strmina čela struje koja se smatra konstantnom,

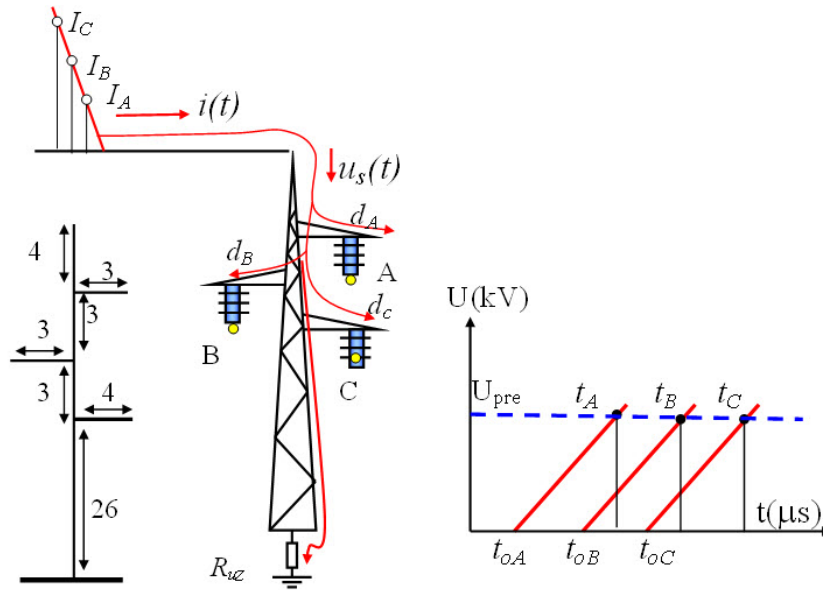
t -vreme računato od trenutka udara u zaštitno uže.

Ukoliko je karakteristična impedansa zaštitnog užeta Z_z , tada se struja deli po zaštnom užetu na 2 dela, pa se može smatrati da je naponski talas koji se prostire po zaštitnom užetu rezultat polovine struje pražnjenja, odnosno:

$$u(t) = \frac{Z_z \cdot i(t)}{2} \quad (11.4)$$

Kada naponski talas dođe do vrha stuba, prelama se u skladu sa odnosom karakterističnih impedansi zaštitnih užeta i stuba. Naponski talas stiže do kraja najviše konzole posle vremena t_{0A} , do kraja srednje konzole posle vremena t_{0B} i do kraja najniže konzole posle vremena t_{0C} od trenutka udara. Naponi na konzolama za faze A , B i C rastu uz postojanja višestrukih refleksije talasa od uzemljivača i od vrha stuba, zbog čega napon na konzolama nije linearno rastući.

Na slici 11.2 prikazana je skica stuba sa putanjama prostiranja struja od mesta udara do vrha stuba i duž elemenata stuba, što izaziva različita vremena pristizanja talasa do pojedinih konzola (levo), skica uspostavljanja napona na najvišem izolatoru faze A , srednjem izolatoru faze B i najnižem izolatoru faze C u cilju određivanja trenutaka preskoka (desno). U levom donjem uglu date su dimenzije izražene u (m) konkretnog analiziranog stuba.



Slika 11.2: Određivanje trenutaka preskoka na izolatorima na fazama A , B i C

Napon na izolatorima između konzole stuba i faze, u slučaju kada je zanemaren radni napon na fazama, napreže izolaciju od trenutka nailaska na konzolu, odnosno:

$$u_j(t) = f(t - t_{0j}) \text{ za faze } j = A, B, C$$

gde je:

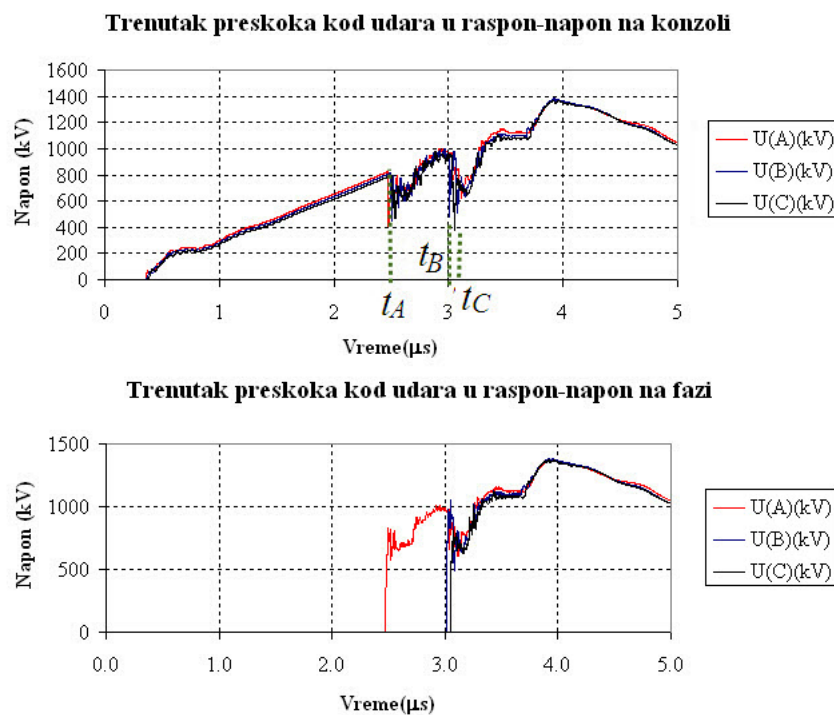
$u_j(t)$ -napon između konzole stuba i faza A , B ili C . Prepostavljeno je da je radni napon na fazi na potencijalu nula, ukoliko je zanemaren radni napon. Uticaj radnog napona je beznačajan za sisteme nižeg napona od 400 kV. Za sisteme iznad 400 kV radni napon ima uticaja, ali statistički gledano ne utiče bitno na godišnji broj preskoka jer u zavisnosti od trenutka udara u odnosu na trenutnu vrednost radnog napona može da poveća ili smanji naprezanje, što je opisano u tački 8.4.9 na strani 361.

$f(t - t_{0j})$ -funkcionalna zavisnost napona od trenutka nailaska na izolator faze $j = A, B, C$ do trenutka t , koja predstavlja meru naprezanja izolacije koja zavisi od visine napona, talasnog oblika i ukupnog trajanja od nailaska napona na izolator.

t_{0j} -vreme prostiranja talasa od mesta udara do trenutka nailaska na vrh konzole gde se nalazi izolatorski lanac, za faze $j = A, B, C$.

11.2.1 Primer proračuna struje koja izaziva preskok na pojedinim fazama kada je udar u sredinu raspona

Na slici 11.3 prikazan je talasni oblik napona na konzoli (gore) i na faznom provodniku (dole) pri atmosferskom udaru u raspon sa amplitudom struje 121 kA i trajanjem čela $T = 2.8 \mu s$, odnosno strminom struje $S = 43 \text{ kV}/\mu s$. Dužina raspona je 200 m, karakteristična impedansa užeta 579 Ω , a karakteristična impedansa stuba 129 Ω , otpornost rasprostiranja uzemljenja stuba je usvojena da iznosi $R_{uz} = 20 \Omega$. Na slici 11.2 u levom donjem uglu date su na skici stuba njegove dimenzije. Ostali podaci nisu bitni za proračun.



Slika 11.3: Talasni oblik napona na konzoli (gore) i na faznom provodniku (dole) pri atmosferskom udaru u raspon

Na osnovu proračuna prelaznog procesa i određivanja trenutaka preskoka na fazama

A , B i C , određene su linearno rastuće struje u kanalu pražnjenja I_A , I_B i I_C u trenucima $t_A - t_{0A}$, $t_B - t_{0B}$ i $t_C - t_{0C}$ koje su dovoljne da izazovu preskoke na određenim fazama. Vreme do preskoka se računa od trenutka nailaska talasa na konzolu faze j obeleženom kao t_{oj} do trenutka preskoka t_j , za $j = A, B, C$.

U tabeli 11.1 data su vremena do pojave napona na konzoli za pojedine faze, vremena do preskoka računata od trenutka udara kao referentnog vremena do trenutka preskoka, vremena uspostavljanja napona na izolatoru na kome se razmatra preskok, kao i vrednost struja koja je dovoljna da izazove preskok, za strminu struje $S_1 = 43 \text{ kA}/\mu\text{s}$.

Tabela 11.1: Izračunavanje struje dovoljne da izazove preskok na pojedinim fazama za udar u sredinu raspona i strminu struje $43 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Vreme do pojave napona na konzoli	t_{0A}	t_{0B}	t_{0C}
Vreme u (μs)	0.357	0.366	0.378
Vreme od udara do preskoka	t_A	t_B	t_C
Vreme u (μs)	2.478	3.012	3.051
Vreme od nailaska talasa do preskoka	$t_A - t_{0A}$	$t_B - t_{0B}$	$t_C - t_{0C}$
Vreme u (μs)	2.121	2.646	2.673
	I_A (kA)	I_B (kA)	I_C (kA)
Struja koja izaziva preskok	91.20	113.78	114.93

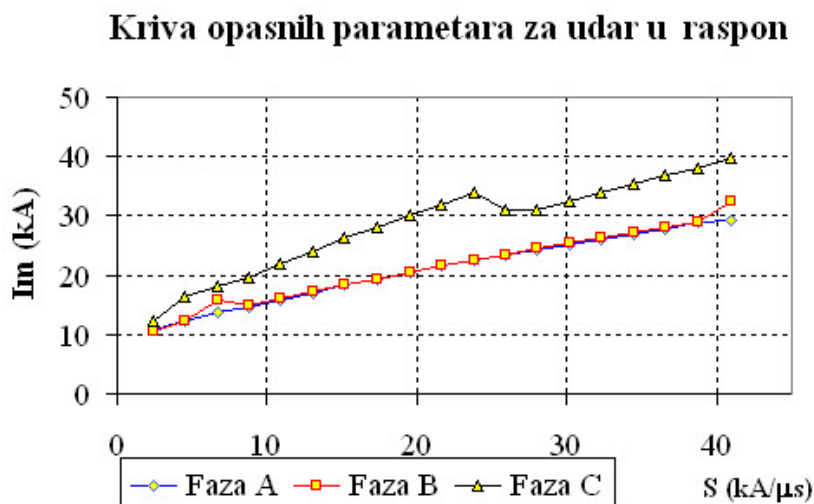
Parovi struja I_A, S_1 , I_B, S_1 i I_C, S_1 predstavljaju 3 tačke za 3 krive opasnih parametara za faze A , B i C . Proces dobijanja krive opasnih parametara se nastavlja tako što se proračun ponavlja za strmine struja:

$$\begin{aligned}
 S_2 &= S_1 - \Delta S \\
 S_3 &= S_2 - \Delta S \\
 &\vdots \\
 S_n &= S_{n-1}
 \end{aligned} \tag{11.5}$$

gde je: $S_1 = S_{max}$, $S_n = S_{min}$, $\Delta S = (S_{max} - S_{min})/n$.

n predstavlja broj simulacija sa različitim ekvidistantno raspoređenim strminama, koji je empirijski ustanovljen da treba da bude oko 20, što optimalno sa stanovišta tačnosti sa jedne strane, i trajanja proračuna sa druge strane.

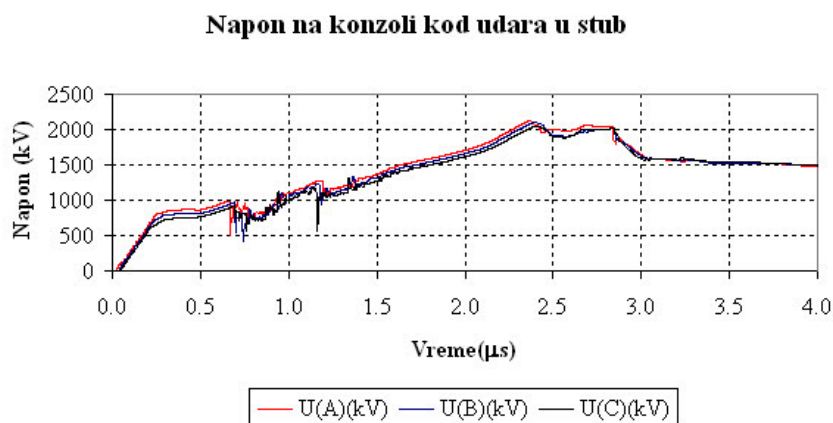
Na slici 11.4 prikazana je kriva opasnih parametara za slučaj kada je udar u sredinu raspona. za vod napona 110 kV.



Slika 11.4: Kriva opasnih parametara za slučaj kada je udar u sredinu raspona

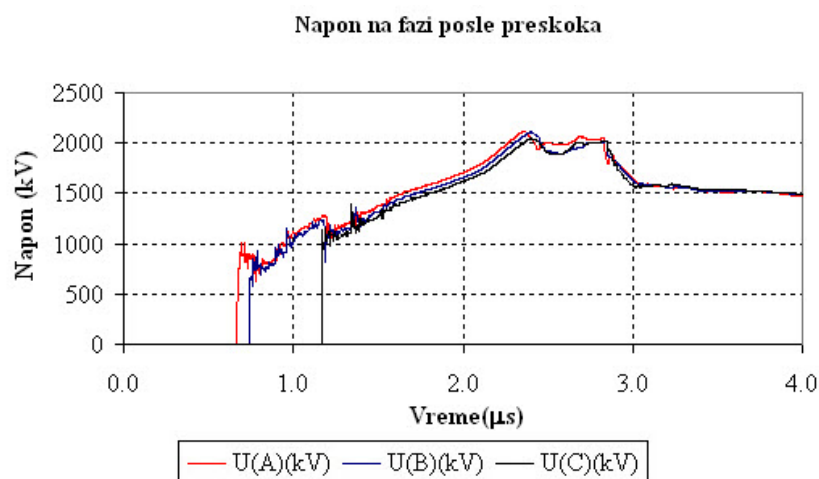
11.2.2 Primer proračuna struje koja izaziva preskok na pojedinim fazama kada je udar u stub

Proračun ponovljen kada se udar dogodio u stub. Talasni oblici napona na krajevima konzole i na faznim provodnicima prikazani su na slikama 11.5 i 11.6.



Slika 11.5: Talasni oblik napona na konzoli kod udara u stub

U tabeli 11.2 data su vremena do pojave napona na konzoli za pojedine faze, vremena do preskoka računata od trenutka udara kao referentnog vremena do trenutka preskoka, vremena uspostavljanja napona na izolatoru na kome se razmatra preskok, kao i vrednost struja koja je dovoljna da izazove preskok, za strminu struje $S_1 = 43 \text{ kA}/\mu\text{s}$, kada se udar dogodio u vrh stuba.



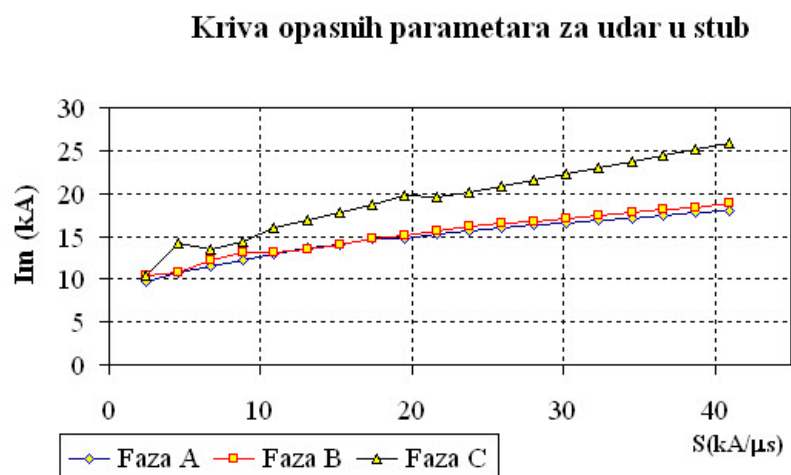
Slika 11.6: Talasni oblik napona na konzoli kod udara u stub

Tabela 11.2: Izračunavanje struje dovoljne da izazove preskok na pojedinim fazama za udar u vrh stuba i strminu struje $43 \text{ kA}/\mu\text{s}$

Vreme do pojave napona na konzoli	t_{0A}	t_{0B}	t_{0C}
Vreme u (μs)	0.0240	0.0360	0.040
Vreme od udara do preskoka	t_A	t_B	t_c
Vreme u (μs)	0.672	0.744	1.168
Vreme od nailaska talasa do preskoka	$t_A - t_{0A}$	$t_B - t_{0B}$	$t_C - t_{0C}$
Vreme u (μs)	0.648	0.744	1.128
	I_A (kA)	I_B (kA)	I_C (kA)
Struja koja izaziva preskok	27.86	30.44	48.60

Na slici 11.7 prikazana je kriva opasnih parametara za udar u stub.

Može se uočiti upoređivanjem slika 11.4 i 11.7 da se za male strmine čela talasa struja dobijaju veoma slične amplitude struja koje prouzrokuju preskok pri udaru u raspon i stub, dok se za velike strmine amplitude struja veoma razlikuju, odnosno dobijaju se mnogo veće amplitude struja pri udaru u raspon. To se može protumačiti uticajem krive preskočnog napona na izolaciji stuba, kod koje za velike strmine napona je potreban mnogo veći preskočni napon nego u slučaju malih strmina talasa.



Slika 11.7: Kriva opasnih parametara za slučaj udara u stub