

PRENAPONI I STRUJE PRI UKLJUČENJU I ISKLJUČENJU TRANSFORMATORA 35kV/10kV VAKUUMSKIM PREKIDAČEM

Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić

Elektrotehnički institut 'Nikola Tesla', Beograd

Sadržaj: U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja faznih napona i struja u toku prelaznih režima koji se javljaju pri uključenju i isključenju neopterećenog transformatora 35kV/10,5kV vakuumskim prekidačem 35 kV.

Ključne reči: prenapon, transformator, vakuumski prekidač, izolacija.

1. UVOD

Operacijama sklopnih aparata u elektroenergetskom sistemu javljaju se različiti prelazni naponski i strujni režimi dok naponi i struje ne dođu do svojih ustaljenih vrednosti. Prelazni režimi zavise prvenstveno od konfiguracije mreže, ali i od karakteristika sklopnog aparata koji uključuje i isključuje. Idealni sklopni aparati sa aspekta prenapona ne bi trebalo da imaju prethodna paljenja električnog luka u procesu uključenja i ponovna nastajanja električnog luka u procesu isključenja. Takođe, ne bi trebalo da u toku isključenja seku struje pre njihovog prirodnog prolaska kroz nulu. Sve napred navedene pojave dovode do prenapona koji mogu znatno da naprežu izolaciju opreme.

Osavremenjavanjem postojećih starih distributivnih transformatorskih stanica umesto malouljnih prekidača ugrađuju se prekidači novijih konstrukcija, prvenstveno vakuumski prekidači. U novim distributivnim transformatorskim stanicama ugrađuju se takođe vakuumski prekidači, a ponegde i SF6 prekidači. Vakuumski prekidači su izuzetno povoljni što se tiče održavanja. Međutim, uključenjima i isključenjima mogu da doprinesu stvaranju takvih naponskih prelaznih procesa koji značajno dielektrički naprežu izolaciju opreme.

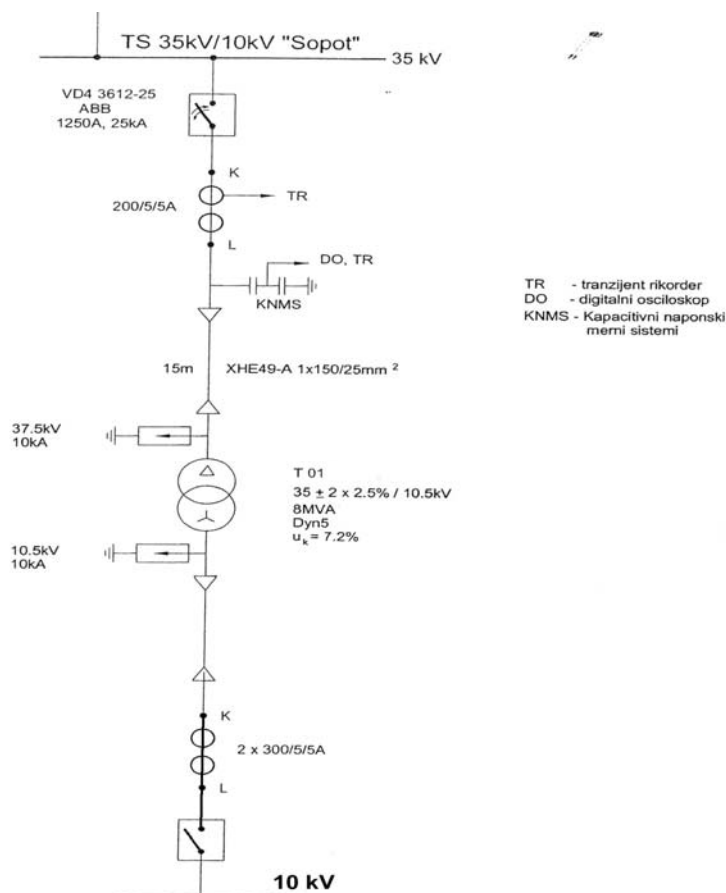
Pri radu vakuumskih prekidača prisutne su dve nepoželjne pojave. Prva je prethodna paljenja električnog luka u procesu uključenja. Druga je sečenje struje pre njenog prirodnog prolaska kroz nulu u procesu isključenja induktivnog opterećenja. Uz pojavu sečenja struje moguća su i ponovna nastajanja električnog luka između kontakta prekidača.

Vakuumskim prekidačima u distributivnim mrežama 35 kV, 20 kV i 10 kV uključuju se i isključuju uglavnom energetski transformatori. Upravo pri tome izražene su pojave prethodnih paljenja električnog luka i sečenja struje pre njenog prirodnog prolaska kroz nulu. To su pokazala eksperimentalna istraživanja pri uključenju i isključenju transformatora 10kV/0,4kV vakuumskim prekidačem 10 kV u jednoj transformatorskoj stanici Elektrodistribucije Beograd i pri uključenju i isključenju transformatora 6kV/0,4kV vakuumskim prekidačem 10 kV u mreži 6 kV sopstvene potrošnje "TENT A". Da bi se saznalo koliko su te pojave izražene pri radu 35 kV

vakuumskog prekidača, izvršena su eksperimentalna istraživanja u jednoj od novoizgrađenih TS 35kV/10kV. Rezultati ovih istraživanja prikazani su u ovom radu.

2. ISTRAŽIVANJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanja faznih napona i struja u toku prelaznih režima (prelazni fazni naponi i prelazne struje) izvršena su u TS 35kV/10kV "Sopot". Prelazni naponski i strujni režimi su razmatrani pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV, 8MVA vakuumskim prekidačem 35 kV [1]. Prelazni fazni naponi su snimani u sve tri faze tranzijent rikorderom i digitalnim osciloskopima koristeći kapacitivne naponske merne sisteme priključene na ulazu kablovskog voda transformatora 35kV/10,5kV. Kapacitivni naponski merne sistemi verno prenose pojave od nekoliko Hz do 2 MHz. Prelazne struje su snimane u sve tri faze tranzijent rikorderom koristeći postojeće strujne transformatora 200A/5A/5A u ćeliji transformatora 35kV/10,5kV.



Slika 1. Jednopolna šema konfiguracije u kojoj su izvršena istraživanja prelaznih faznih napona i prelaznih struja pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV vakuumskim prekidačem 35 kV

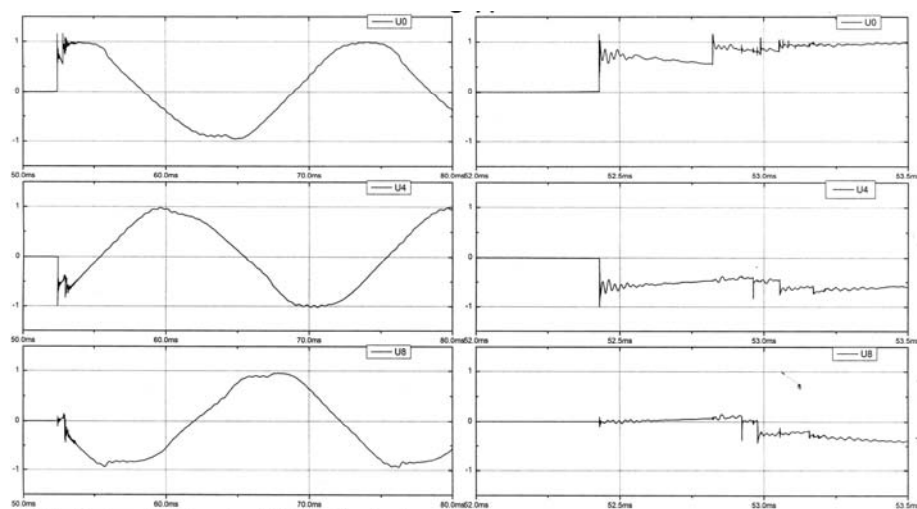
Jednopolna šema konfiguracije u kojoj su izvršena istraživanja prelaznih napona i struja data je na slici 1.

Sa snimaka prelaznih struja očitane su njihove maksimalne vrednosti u trenutku uključenja (udarne komponente).

Na slikama 2, 3, 4, i 5 date su karakteristične pojave prelaznih faznih napona pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV.

Izvršeno je 17 uključenja i 17 isključenja transformatora 35kV/10,5kV vakuumskim prekidačem 35 kV. Šest isključenja transformatora je izvršeno neposredno posle njegovog uključenja.

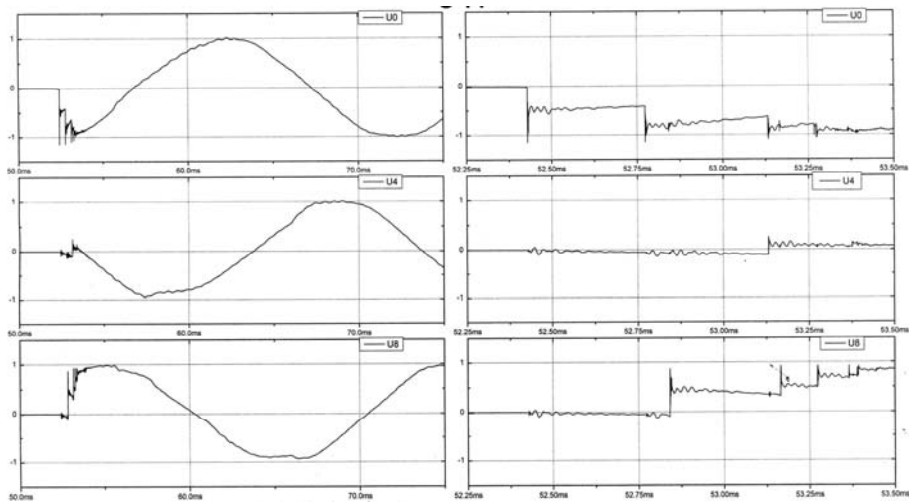
Sa snimaka prelaznih faznih napona očitane su maksimalne vrednosti prenapona. Prikazane su u relativnim jedinicama (r.j.). Prenapon izražen u relativnim jedinicama je odnos maksimalne vrednosti prelaznog faznog napona i amplitude faznog napona u ustaljenom režimu rada.



Prelazni fazni naponi u_0 , u_4 i u_8 na ulazu u kablovski vod transformatora 35kV/10,5kV pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem 35 kV

Deo prelaznih faznih napona u_0 , u_4 i u_8 na kome se vide prethodna paljenja električnog luka između kontakta vakuumskog prekidača 35 kV

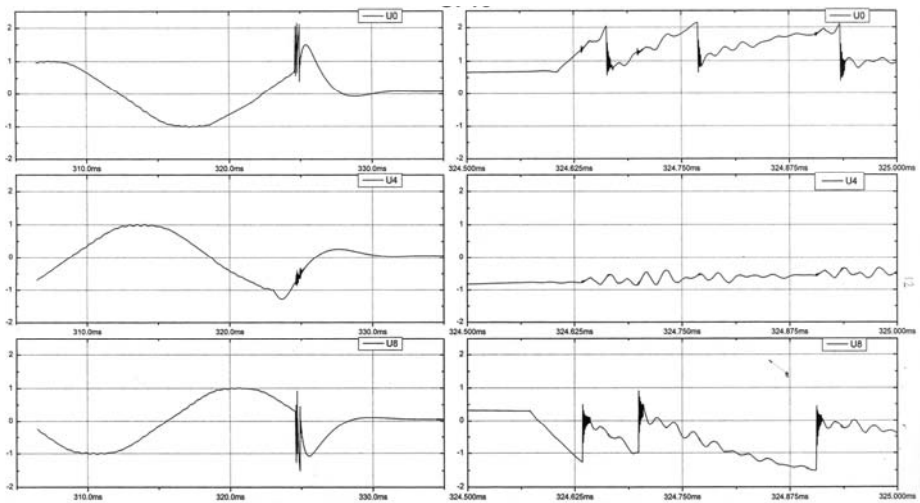
Slika 2



Prelazni fazni naponi u_0 , u_4 i u_8 na ulazu u kablovski vod transformatora 35kV/10,5kV pri njegovom uključenju vakuumskim prekidačem 35 kV

Deo prelaznih faznih napona u_0 , u_4 i u_8 na kome se vide prethodna paljenja električnog luka između kontakta vakuumskog prekidača 35 kV

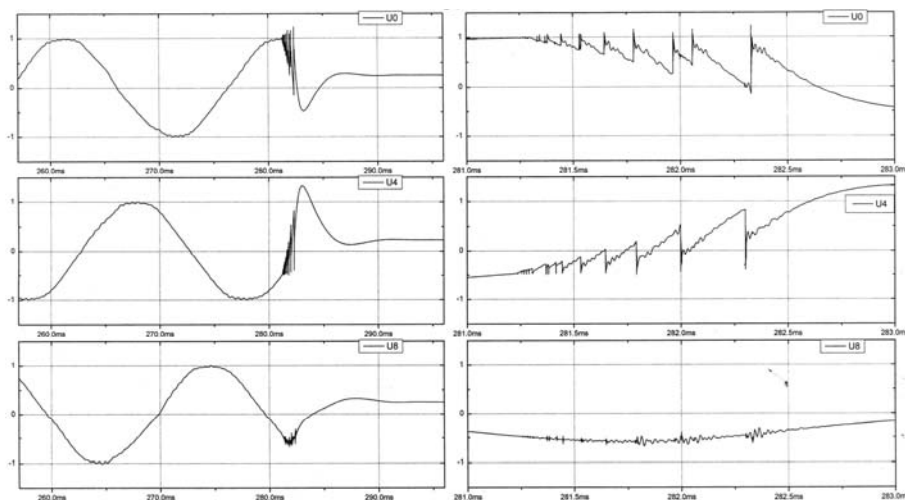
Slika 3



Prelazni fazni naponi u_0 , u_4 i u_8 na ulazu u kablovski vod transformatora 35kV/10,5kV pri njegovom isključenju vakuumskim prekidačem 35 kV

Deo prelaznih faznih napona u_0 , u_4 i u_8 na kome se vide ponovna nastajanja električnog luka između kontakta vakuumskog prekidača 35 kV

Slika 4



Prelazni fazni naponi u_0 , u_4 i u_8 na ulazu u kablovski vod transformatora 35kV/10,5kV pri njegovom isključenju vakuumskim prekidačem 35 kV

Deo prelaznih faznih napona u_0 , u_4 i u_8 na kome se vide ponovna nastajanja električnog luka između kontakta vakuumskog prekidača 35 kV

Slika 5

Pri uključenju transformatora dolazilo je do pojave prethodnih paljenja električnog luka u sva tri pola vakuumskog prekidača. Polovi prekidača ne uključuju istovremeno. Vreme od trenutka uključenja prvog pola do trenutka uključenja poslednjeg nije prelazilo 1,3 ms. U toku približavanja kontakta dolazi između njih u svakom polu do paljenja i gašenja električnog luka sve dok se ne spoje. Svako prethodno paljenje električnog luka dovodi do prelaznog naponskog procesa. To se jasno vidi na snimcima prelaznih faznih napona prikazanim na slikama 2 i 3. U pojedinim slučajevima uključenja javlja se i do 10 prethodnih paljenja električnog luka između kontakta nekog od polova prekidača. Međutim, prenaponi nisu visoki. Najviši izmereni u toku 17 izvedenih uključenja transformatora je 1,21 r.j.. Srednja vrednost prenapona u uzorku prenapona sve tri faze (51 član uzorka) je 1,03 r.j.. Pri uključenjima transformatora vakuumskim prekidačima u mrežama 10 kV i 6 kV izmereni su mnogo viši prenaponi [2,3]. Strmine prenapona koje se javljaju pri prethodnim paljenjima električnog luka su znatne. Dostižu i do 60 kV/ μ s.

Udarne komponente struja uključenja kretale su se od 40 A do 660 A. U 14 izvedenih uključenja udarne komponente struja bile su bar u jednoj fazi veće od amplitude naznačene struje transformatora 35kV/10,5kV. Najviša izmerena je 3,5 puta veća od temene vrednosti naznačene struje transformatora. Srednja vrednost udarnih komponenti struje uključenja u uzorku udarnih komponenti sve tri faze (51 član uzorka) je 297 A.

Isključenja transformatora 35kV/10,5kV su u većini slučajeva dovodila do prenapona i do pojave ponovnih paljenja električnog luka između kontakta polova prekidača 35 kV. Isključenja su izvedena kada je transformator bio u praznom hodu (11 isključenja) i neposredno posle njegovog uključenja dok se prelazni proces još nije smirio (6 isključenja). Najviši izmereni prenapon pri isključenju transformatora, kada je

u praznom hodu, je 1,47 r.j., a srednja vrednost prenapona u uzorku prenapona sve tri faze (33 člana uzorka) je 1,09 r.j.. Najviši izmereni prenapon pri isključenju transformatora, koja su izvođena neposredno posle njegovih uključenja (180 ms do 325 ms posle uključenja), je 2,15 r.j., a srednja vrednost prenapona u uzorku prenapona sve tri faze (18 članova uzorka) je 1,20 r.j.. Osim po visini nema bitne razlike između prenapona pri isključenjima transformatora u praznom hodu i isključenjima koja su izvođena neposredno posle njegovog uključenja. I pri jednim i pri drugim prisutna su višestruka ponovna paljenja električnog luka. Proces višestrukih ponovnih paljenja električnog luka traje oko 1 ms. U tom periodu pojavljuje se u nekim slučajevima i po 20 ponovnih paljenja električnog luka između kontakta prekidača. Pri isključenjima transformatora u mrežama 10 kV i 6 kV izmereni su mnogo viši prenaponi [2,3].

3. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Podnosivi sklopni naponi izolacije 35 kV namotaja transformatora 35kV/10,5 kV su nepoznati jer se transformatori, čiji je namotaj višeg napona 110 kV i niži, ne ispituju sklopnim udarnim naponom. Zna se da podnosivi napon industrijske učestanosti za izolaciju namotaja 35 kV iznosi 70 kV i da je podnosivi atmosferski udarni napon iste izolacije 170 kV. Podnosivi sklopni napon je niži od napona 170 kV, a trebalo bi da bude za nove transformatore viši od temene vrednosti podnosivog napona industrijske učestanosti koji je jednak $U_{p,s} = 70 \cdot \sqrt{2} = 99 \text{ kV}$. Ustanovljeni prenaponi pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV vakuumskim prekidačem 35 kV su niži od napona 99 kV (najviši izmereni je $35 \sqrt{2} / \sqrt{3} \times 2,15 = 61,4 \text{ kV}$) i ne predstavljaju opasnost za izolaciju njegovog 35 kV namotaja.

Transformator 35kV/10,5kV se ispituje atmosferskim udarnim naponima oblika 1,2/50 temene vrednosti 170 kV. Strmine ovih udarnih napona su veće od 150kV/ μs . Izolacija 35 kV namotaja transformatora prema masi i između navojaka je predviđena da izdržava ove udarne napone bez proboja. Strmine ustanovljenih prenapona, koje se javljaju pri uključenju i isključenju transformatora, su niže od strmina atmosferskih udarnih napona sa kojim se transformatori ispituju. Prenaponi sa ovakvim strminama ne bi trebalo da predstavljaju opasnost za izolaciju 35 kV namotaja transformatora.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu analize rezultata istraživanja faznih napona i struja u toku prelaznih režima, koji se dešavaju pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV u TS"Sopot" vakuumskim prekidačem 35 kV, može se zaključiti sledeće:

- Uključenja transformatora dovode do višestrukih prethodnih paljenja električnog luka između kontakta vakuumskog prekidača, ali prenaponi koji se pri tom javljaju su niski ili ih nema. Najviši izmereni je 1,21 r.j.. Strmine prenapona nisu prelazile 60 kV/ μs .
- Isključenja transformatora u praznom hodu dovode do pojave sečenja struje pre njenog prirodnog prolaska kroz nulu i do višestrukih ponovnih paljenja električnog luka, ali prenaponi koji se pri tom pojavljuju nisu visoki. Najviši izmereni je 1,41 r.j..
- Isključenja transformatora neposredno posle njegovog uključenja, dok još traje prelazni proces, dovode do pojave sečenja struje pre njenog prirodnog prolaska kroz nulu i do pojave višestrukih ponovnih paljenja električnog luka, ali ni u ovim

slučajevima prenaponi nisu visoki. viši su nego pri isključenjima u praznom hodu. Najviši izmereni je 2,15 r.j..

- Vrednosti udarnih struja pri uključenju transformatora su uobičajenih vrednosti kao i kod drugih transformatora 35kV/10,5kV. Najviša izmerena udarna struja je 660 A.
- Izolacija prema masi i između navojaka 35 kV namotaja transformatora 35kV/10,5kV nije ugrožena od prenapona koji se javljaju pri njegovom uključenju i isključenju vakuumskim prekidačem 35 kV.

LITERATURA

- [1] "Istraživanje prelaznih faznih napona i prelaznih struja pri uključenju i isključenju transformatora 35kV/10,5kV u TS"Sopot" vakuumskim prekidačem 35 kV", Izveštaj br.310717, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd 2007, str 24.
- [2] "Istraživanje prenapona i struja pri uključenju i isključenju prekidača u razvodu 6 kV bloka 5 TENT-A", Elaborat br. 710414, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd 2004, str 118.
- [3] P.Vukelja, J.Mrvić, D.Hrvić, "Overvoltages at vacuum switching devices operation", CIGRE, Symposium "Transient Phenomena in Large Electric Power Systems", Zagreb, april 18-21, 2007.

Abstract: In this paper the results of experimental research of transient phase voltages and transient currents during switching on and switching off of unloaded 35 kV/10.5 kV transformers using vacuum circuit breaker 35 kV, are presented

Key words: *overvoltage, transformer, vacuum circuit breaker*

TRANSIENT OVERVOLTAGES AND CURRENTS DUE TO SWITCHING OF 35 kV/10 kV TRANSFORMER BY VACUUM CIRCUIT BREAKER

Petar Vukelja, Jovan Mrvić, Dejan Hrvić