

## **ПОЈАВА ПРЕНАПОНСКИХ ИМПУЛСА ПРИ МАНИПУЛАЦИЈАМА РАСТАВЉАЧЕМ У ГАСОМ ИЗОЛОВАНОМ ПОСТРОЈЕЊУ ТС 110/35kV „ВРЕОЦИ“**

Д. РИСТИВОЈЕВИЋ, ЈП ЕПС, РБ Колубара, Србија  
С. ВУКОВИЋ, ЈП ЕПС, РБ Колубара, Србија  
В. ПАЈИЋ, ЈП ЕПС, РБ Колубара, Србија

### **1. УВОД**

Неуобичајена појава склопних пренапона, при манипулацијама растављачем у SF<sub>6</sub> постројењима изазива посебну пажњу, с обзиром да се због вишеструког паљења и гашења електричног лука формирају импулси трајања реда наносекунди (nsec), доста високог градијента.

Пренос пренапонског таласа, кроз металне масе постројења, врши се поред галванског, индуктивног и капацитивног, и антенским путем уз појаву учестаности до реда 150 MHz.

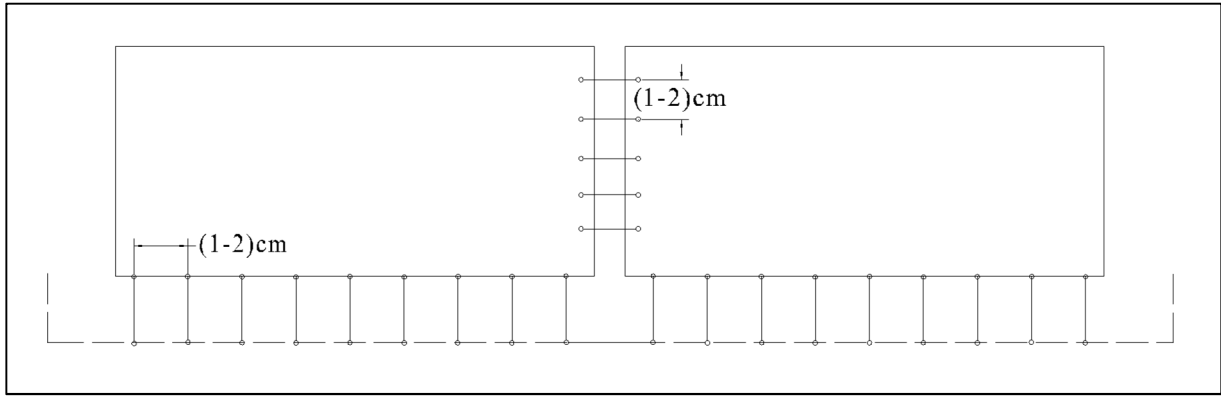
На површинама са изједначеним потенцијалом за  $f=50$  Hz, јављају се пренапонски таласи реда (15-20) kV при учестаности од  $f=150$  MHz, тако да се галванско спајање металних површина мора извести на што краћим растојањима. Јавља се и негативан утицај на секундарној страни (мерна и заштитна кола).

### **2. ПОЈАВА ПРЕНАПОНА ПРИ МАНИПУЛАЦИЈАМА РАСТАВЉАЧЕМ**

Без обзира на велику предност гасом изолованих постројења у односу на класична, по питању редуковања просторних координата, што за градска подручја не може бити занемарљиво, постоје и проблеми, који су у принципу недовољно познати у пракси експлоатације.

Услед велике диелектричне чврстоће SF<sub>6</sub> гаса, као и минималних растојања, уз одређени ниво притиска, приликом манипулација растављачем, при малој брзини кретања (око 2cm/sec), долази до вишеструких паљења и гашења електричног лука. Приликом искључења растављача, прекида се мала капацитивна струја (капацитивност према искљученом прекидачу, или према металној конструкцији постројења).

Како је размицање изузетно споро, услед осцилација напона и струје, у појединим моментима долази до потоњег паљења и гашења електричног лука, што говори о високом степену прелазног процеса. Настају пренапони, изузетно стрми, чије чело траје реда (5-15) nsec, што је скоро хиљаду пута бржа појава у односу на атмосферско пражњење.



**Слика 1 – Начин изједначавања потенцијала на две металне површине међусобно и према уземљењу постројења за екстремно високе учестаности**

Ова појава је највећа слабост постројења у SF6 техници, мада се недовољно проучава, а понекад и занемарује. Пренапонски таласи, који се јављају поред екстремне брзине, високе су учестаности, чак од неколико десетина до стотина MHz (10-100) MHz. Изједначење потенцијала за учестаност  $f=50\text{Hz}$  је прилично једноставно, али за знатно више учестаности (до 100MHz), изузетно је комплексан проблем. Уземљивачки систем, добро и коректно димензионисан за мрежну учестаност, постаје проблематична због индуктивне компоненте (LC коло, „П“ коло), а не само као активна отпорност. Отуда високи потенцијали између металних сегмената, приликом манипулација растављачем (укључење, или искључење, уз појаву претходног или потоњег паљења електричног лука). Потребна је велика умешност у проблематици решавања елиминације појаве високих потенцијала на металним масама постројења.

Спајање металних целина, међусобно и према уземљивачу, се мора извршити што краћим проводницима, на што мањем растојању (1-2)cm, и на што више места (видети слику 1). Пренапонски таласи кроз постројење се због  $f > 100\text{MHz}$ , простиру површински (скин ефекат), наилази на тачке дисконтинуитета (различите таласне импедансе), преламају се, или рефлектују вишеструко и постају изузетно стрми. Донекле се угрожава изолација постројења, уколико уземљивачки систем није добро решен, преносе се потенцијали у секундарна кола мерних трансформатора и на тај начин угрожавају мерни инструменти и релејна заштита.

Капацитивности су због малих растојања између фазних проводника међусобно и према маси, знатно веће него код класичних постројења, а уз чињеницу да учестаности достижу ред стотинак MHz, струја земљоспоја достиже огромне вредности (реактивна компонента), и до неколико kA.

Трафо станица 110/35kV, „Вреоци“, на 35kV-ној страни има ограничење активне компоненте струје земљоспоја на 50A.

$$R = 400\Omega \Rightarrow Uf = \frac{Ul}{\sqrt{3}} = 21000V \quad (1)$$

$$I_{a_z} = \frac{21000}{400} = 52,5A \quad (2)$$

Овако ниска вредност је потребна због ограничења вредности напона додира и напона корака, при земљоспоју у коповским условима.

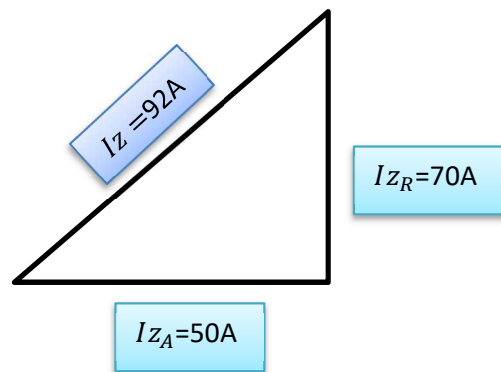
Међутим, како је веома развијена кабловска мрежа, (дужина  $l = 14\text{km}$ ) велика је реактивна компонента струје земљоспоја.

$$I_{CR} = 3Uf * \omega * C * l (km) \approx 70A \quad (3)$$

При  $\omega = 2\pi f \gg 50\text{Hz}$  (10-100) MHz, уз повећане вредности капацитивности при употреби SF6 постројења, капацитивне струје ће бити, чак до неколико kA.

$$I_{CR} \gg 70A$$

Прескок ка металним површинама, при манипулацији растављачем су проблем, због изузетне спорости операције (вишеструко паљење и гашење електричног лука – претходно и потоње), док при реаговању прекидача нема сличних појава, јер је брзина реаговања око 80msec.



Слика 2: Активна и реактивна компонента струје

Трафо станица „Вреоци“ 110/35kV је снаге 3x63MVA, напаја се из термоелектране у Великим Црљенима и преко далековода 1111 и 1112, 110 kV. На 35 kV-ној страни постоји 15 одвода, углавном надземним водовима, уз присуство нашо кабловске мреже.

Сва мерења пренапонских појава су извршена између неколико металних маса у оквиру објекта, на којима је привидно (за учестаност  $f=50\text{Hz}$ ), реализовано изједначење потенцијала спајањем површина на једном, или пар места (што је недовољно за екстремно високе учестаности).

У наведеним ћелијама (табела), су секционо вршене манипулације сабирничким растављачем-искључење и укључење, уз претходно искључен прекидач на изводу (дакле „напразно“), уз мерење насталих потенцијала осцилоскопом између поменутих тачака на металним масама у постројењу. Дакле, ради се о истим мерним тачкама, при манипулацијама искључења и укључења у напоменутих ћелијама, секционо.

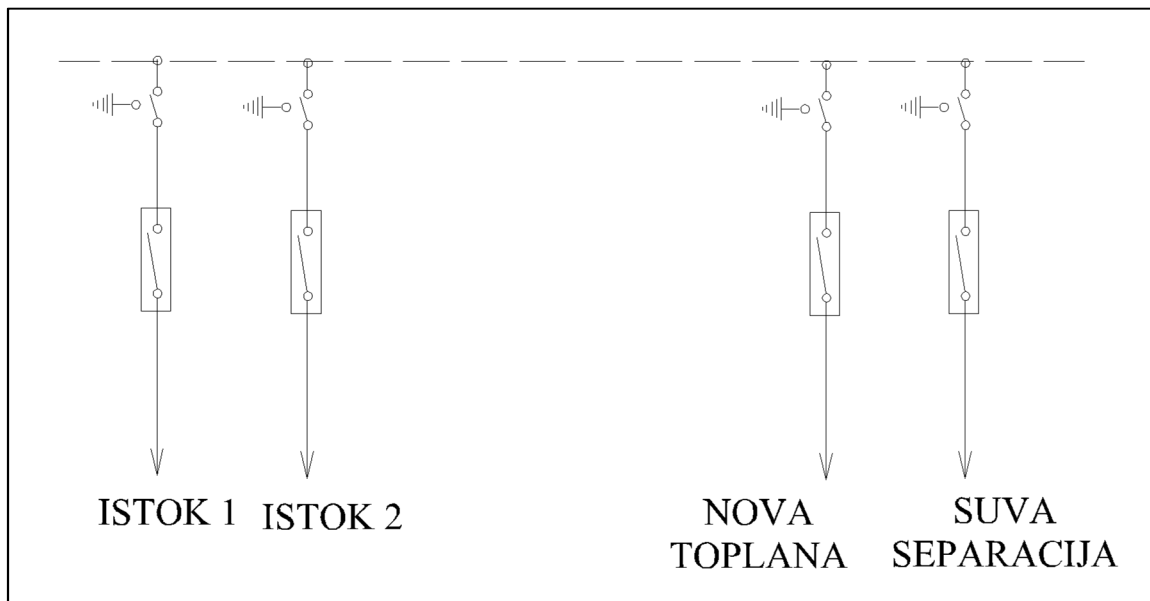
Претходно је направљена анализа могућности настанка најнеповољнијих вредности пренапона између тачака, где се није размишљало о изједначењу потенцијала за учестаности реда стотинак и више MHz.

Мерења су извршена двоканалним преносним осцилоскопом, Scope Meter 190 В/С, Fluke, SAD.

Иначе, преношење потенцијала се остварује:

- а) галвански
- б) индуктивно
- в) капацитивно
- г) антенски (за учестаности, много веће од мрежне)

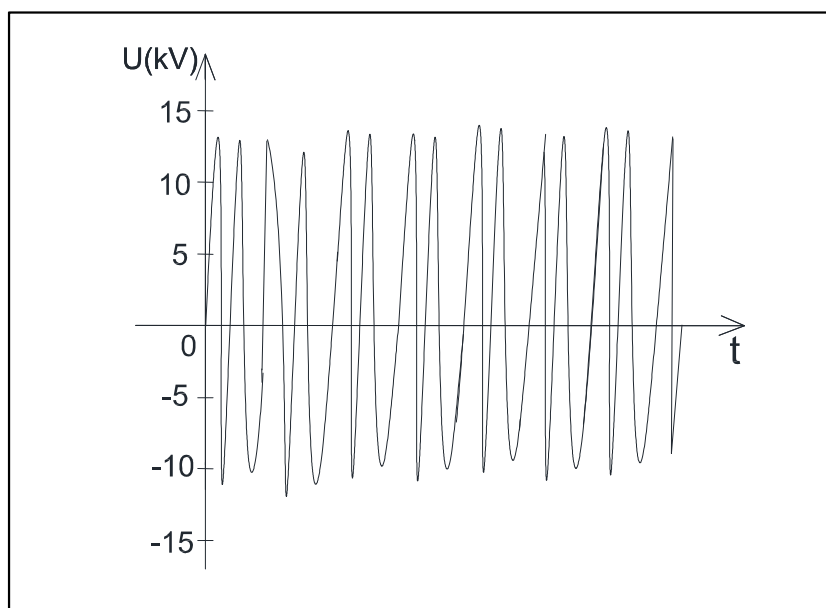
Антенски пренос је јединствена и неуобичајена појава и делује скоро нестварно.



Слика 3: Развод 35kV у трафо стници 110/35kV „Вреоци“ 3x63MVA

Манипулација отварања растављача на ДВ	Исток 1	Исток 2	Исток 3	Рудник 5	Рудник 6	Рудник 4А	Рудник 4Б	Нова Топлана	Сува сепарација	Централна радионица
Потенцијална разлика између металних плоча у мерној ћелији (kV)	12,4	12,3	12,1	9,3	14,0	14,1	14,3	9,8	10,4	13,8
Потенцијална разлика у колима секундара струјних трансформатора (kV)	2,4	2,4	2,38	2,75	2,70	2,93	1,1	1,42	1,42	1,48
Потенцијална разлика између металних плоча и уземљ. система мерне ћелије (kV)	12,32	12,0	11,7	9,6	14,3	14,3	14,3	10,1	10,7	13,9

Табела 1: Вредности потенцијала при отварању растављача у појединим изводним ћелијама 35kV



Слика 4: Изглед пренапонског таласа при отварању растављача у појединим ћелијама 35 kV

Вредности потенцијалних разлика између металних маса појединачно, и металних маса према уземљивачком систему достижу до близу 15kV, а у мерним колима инструмената и релејне заштите до близу 3kV. Уочава се вредност амплитуде веома стрмог пренапонског таласа, која може бити критична по изолацију система, или у најбољем случају реметити поузданост релејне заштите. На пар извода је извршено затварање растављача и показало се да при претходним паљењима и гашењима електричног лука, степен пренапона буде нешто нижи, али разлика није драстична.

Манипулација отварања растављача на ДВ	Исток 1	Исток 2	Исток 3	Рудник 5	Рудник 6	Рудник 4А	Рудник 4Б	Нова Топлана	Сува сепарација	Централна радионица
Потенцијална разлика између металних плоча у мерној ћелији (kV)	12,02	11,9	11,7	9,02	13,6	13,6	13,9	9,6	10,1	13,4
Потенцијална разлика у колима секундарна струјних трансформатора (kV)	2,3	2,3	2,3	2,66	2,62	2,84	1,07	1,38	1,38	1,44
Потенцијална разлика између металних плоча и уземљивачког система мерне ћелије (kV)	11,95	11,6	11,3	9,3	13,9	13,9	13,8	9,8	10,4	13,5

**Табела 2: Вредности потенцијала при затварању растављача у појединим изводним ћелијама 35kV**

У сваком случају, постоји опасност по изолацију система и по поузданост деловања релејне заштите, особито земљоспојне услед појаве екстремно високих вредности струје квара, приликом прескока са металних маса на уземљивачки систем постројења (неколико kA, услед  $f \gg 50\text{Hz}$  и  $C \gg C$  класичног постројења)

$$Z_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (3)$$

$$Z_{C2} \ll Z_{C1} \quad \begin{cases} Z_c = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot C_1} \\ I_{C2} \gg I_{C1} \\ Z_c = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^6 C_2} \end{cases} \quad (4)$$

У пракси је забележен случај беспотребног реаговања земљоспојне заштите, при манипулацији растављачем (отварање или затварање) на празно. То ствара велике недоумице, уколико се ова проблематика не познаје и не приступи се на прави начин.

Морају се добро уочити тачке дисконтинуитета, односно координате преламања, или рефлексije пренапонског таласа, при простирању кроз постројење дуж металних конструкција. Упознати уземљивачки систем, анализирати његову примену при екстремно високим учестаностима и израженој индуктивној компоненти, као и начине да се тачке дисконтинуитета, сведу на најмању могућу меру и ублажи њихов утицај.

У стручној литератури се ова врста проблематике веома слабо, скоро никако, не обрађује. Углавном се истичу позитивни ефекти примене гасом изолованих постројења, док се о пропратним, веома значајним наведеним ефектима, веома мало води рачуна.

По неким показатељима, сматра се да је потенцијал у секундарним колима струјних трансформатора, изнад 1kV, већ проблематичан, док је за потенцијалну разлику између металних плоча већу од 10 kV, проблем већ значајан. Ради се о малим струјама, но, ипак се мора анализирати могућност угрожавања опреме услед екстремно великих стрмина (5-15) nsec, односно високог градијента, знатно неповољнијег у односу на атмосферско пражњење, с тачке гледишта трајања чела пренапонског таласа.

Када су у питању тачке дисконтинуитета, обавезно применити такозвано Петерсеново правило, да би се могла реализовати комплексна анализа актуелног стања.

Видимо, да је у односу на класична, ваздухом изолована постројења, проблематика знатно сложенија и потребно је реално сагледавање оправданости употребе гасом изолованих постројења у појединим случајевима.

### **3. ЗАКЉУЧАК**

Услед појава високих потенцијала са екстремно стрмим челом уз трајање реда неколико nsec, потребно је сагледати комплексност уземљивачког система и реализовати у пракси адекватно изједначење потенцијала између металних маса понаособ, и металних маса према уземљивачком систему. Споро отварање и затварање растављача (1-2)cm/sec, изазива претходна паљења и гашења електричног лука и самим тим генерисање опасних потенцијалних разлика, уз екстремно високу учестаност.

Захтева се велика умешност и велика стручност корисника за спровођење адекватних мера, изједначења потенцијала у оквиру постројења, и то је основна слабост SF6 технике. Уз низ позитивних ефеката, јавља се и ова јако негативна појава, чије решавање захтева интегрална знања.

### **4. ЛИТЕРАТУРА**

- 1) Дотлић Г , 2013, Електроенергетика кроз стандарде, законе, правилнике и техничке препоруке
- 2) Савић М, 2004, Високонапонски расклопни апарати