

III секција: МРЕЖИ  
СТК 33- ПРЕНАПОНИ И КООРДИНАЦИЈА НА ИЗОЛАЦИЈАТА  
Стручен известувач: д-р Воислав Јанков, дипл.инж.

### ИЗВЕШТАЈ НА СТРУЧНИОТ ИЗВЕСТУВАЧ

Р 33-01 Р. Миновски, З. Здравковиќ, Р. Наумов, П. Вукелја. ЗА ДОВЕРЛИВОСТА НА РАБОТАТА НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА ОБЈЕКТИТЕ ЗА ВИСОК НАПОН ПОД ДЕЈСТВО НА ПРЕНАПОНИ

Во трудот е направен осврт врз параметрите на доверливост на работата на објектите за висок напон изложени на дејство на пренапони. Посветено е внимание на процедурата за пресметка на најважните параметри на доверливост и тоа ризикот за прескок, времето до отказ и бројот на откази. Врз основа на светските искуства, предложени се вредностите на параметрите на доверливост за високонапонските мрежи.

Прашања за дискусија: Дали во нашиот ЕЕС се располага со квалитетни статистички податоци за бројот на испадите и отказите на објектите за висок напон. Дали предложените параметри на доверливост може да се сметаат како реални за нашиот ЕЕС.

Р 33-02 В. Јанков, S. Grzybowski. ПРОЦЕНА НА НИВОТО НА ПРЕСКОЦИ НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА ДИСТРИБУТИВНИТЕ ВОДОВИ ПРЕДИЗВИКАНИ ОД УДАР НА ГРОМ ВО НИВНАТА БЛИЗИНА

Во трудот е предложен метод за проценка на нивото на прескоци на надземните дистрибутивни водови како резултат на удар на молња во нивната близина. Методот ги зема предвид сите параметри на атмосферското празнење, релевантни за овие пресметки. Се покажува дека нивото на прескоци најмногу зависи од нивото на изолацијата на водот и од неговата висина. Потврдено е согласувањето со малубројните експериментални податоци.

Прашања за дискусија: Дали конструкциите на среднонапонските водови кои се во употреба во нашиот ЕЕС имаат доволна доверливост од аспект на индуцирани атмосферски пренапони. Дали се предлага нешто да се превземе.

Р 33-03 Љ. Магденовски, З. Петков. ЗАМЕНА НА РАДИОАКТИВНИТЕ СО РАНОСТАРТУВАЧКИТЕ ГРОМОБРАНИ. ТЕХНИЧКО- ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ

Најновата техничка регулатива за громобраните во Р. Македонија ја забранува употребата на радиоактивните громобрани, односно постојните треба

да се заменат со соодветни други решенија. Како техничко- економско најоправдано се јавува решението со раностартувачки громобрани.

Во трудот се изнесени основните карактеристики на раностартувачките громобрани, а на еден конкретен пример се изложена методологиите за заштитата од директни удари со разни видови громобрани и направена е економска споредба за поедините решенија.

Прашања за дискусија: Дали решенијата со раностартувачки громобрани се оправдани за секој новоизграден објект. Дали може да се понуди решение на громобранската заштита со однапред дадена ефикасност за заштитата.

#### Р 33-04 Р. Миновски, А. Шекерински, Б. Јанков, А. Петров, А. Ристески. ИЗБОР И ПРИМЕНА НА *МО* ОДВОДНИЦИ ЗА ПРЕНАПОНИ

Во трудот се изнесени изводи од препораката за избор и примена на *МО* одводници за пренапони во високонапонските мрежи со номинален напон  $\geq 110 \text{ kV}$ , која е усвоена во ЈП "Електростопанство на Македонија".

Прашања за дискусија: *МО* одводници за пренапони веќе најдоа примена во нашиот ЕЕС. Во текот на 1996 година вградени се првите 10 и 35  $\text{kV}$  *МО* одводници во нашите дистрибутивни мрежи. Дали има некои искуства од нивната експлоатација. Во светло на изнесеното во трудот, дали не е неопходно да се изврши некоја ревизија на некои постојни решенија на заштитата на РП од упадни бранови.

#### Р 33-05 З. Трпески, В. Штерјовски. ИСКУСТВА ОД РАБОТАТА НА 20 $\text{kV}$ МРЕЖА ВО ДИСТРИБУЦИЈА ГОСТИВАР СО ЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА

20  $\text{kV}$  мрежа во дистрибуција Гостивар во 1996 година премина на режим на работа со заземјена неутрална точка. Во трудот се изнесени компаративни податоци од експлоатацијата на наведената мрежа при нејзина работа со изолирана неутрална точка и со заземјена неутрална точка преку мал отпор. Резултатите се многу охрабрувачки.

Прашања за дискусија: Бидејќи постепено еден дел од дистрибутивните организации во нашиот ЕЕС преминува на заземјување на неутралните точки преку мал отпор, добро би било да се изнесат слични компаративни показатели.

#### Р 33-06 Р. Миновски, Д. Манов, В. Јанков, Т. Ангелкоски. ДАЛИ ИЗОЛАЦИЈАТА НА ГЕНЕРАТОРИТЕ ДА СЕ ИСПИТУВА СО ВИСОК НАПОН

Искуствата од примената на високите напони за време на профилактичките испитувања на изолацијата на генераторите во нашиот ЕЕС, ни говори дека за време на тие испитувања се можни пробои на изолацијата. Пред стручниот кадар кој ги води тие испитувања се јави дилемата: дали не треба да се прекине со високонапонски испитувања на изолацијата на генераторите?

Во трудот е направен еден осврт врз потребата од испитување на изолацијата на генераторите со висок напон. Разгледани се позитивните страни на испитувањата со високи напони со еднонасочен и наизменичен напон.

Прашања за дискусија: Дали понудените вредности на испитните напони кои се дадени во заклучокот од трудот се прифатливи како испитни за нашите генератори, водејќи сметка за бројот на генераторските единици кои се вградени во нашиот ЕЕС како и нивниот поминат експлоатационен век.

Ристо Миновски, Електротехнички факултет, Скопје  
Златоје Здравковиќ, Институт "Никола Тесла", Београд  
Радомир Наумов, Институт "Никола Тесла", Београд  
Петар Вукелја, Институт "Никола Тесла", Београд

## **ЗА ДОВЕРЛИВОСТА НА РАБОТАТА НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА ОБЈЕКТИТЕ ЗА ВИСОК НАПОН ПОД ДЕЈСТВО НА ПРЕНАПОНИ**

### **СОДРЖИНА**

Во трудот се изнесени основните параметри за доверливост на работата на објектите за висок напон изложени на дејство на пренапони. Посветено е внимание на процедурата за пресметка на најважните параметри на доверливост и тоа ризикот за прескок, времето до отказ и бројот на откази. Врз основа на светските искуства, предложени се вредностите на параметрите на доверливост за високонапонските мрежи.

### **ABSTRACT**

The scope of this paper is to present the basic knowledge and instructions related to the reliability of the HV elements to the overvoltage. The most important parameters, such as flashover- breakdown rate, failure rate and failure duration were considered. Relying on the world experience, the values for the reliability parameters of the HV systems, were proposed.

**Клучни зборови:** Изолација, доверливост, пренапони, ризик, отказ.

### **1. УВОД**

Изолацијата на високонапонските објекти е изложена на напрегања кои се резултат на дејството на бројни множества на пренапони. Нив ги генерираат причинските настани (комутации на комутационите апарати, удари на молња во поедини точки од објектот и сл.) и на секој од нив му одговара едно или повеќе множества пренапони.

Способноста на изолацијата да ги поднесува напонските напрегања, односно пренапоните со различен облик, амплитуда и поларитет се изразува со функцијата на веројатност да настане прескок (пробој)- *крива на ефект  $P(u)$* .

Како последица на дејството на множествата на пренапони може да се појават прескоци или пробои на изолацијата. Во пракса тие не можат во потполност да се избегнат, и затоа може да дојде до прекин на работата на објектите од висок напон. За да се утврди доверливоста на работа на изолацијата потребно е да се знае со која веројатност може да се јават прескоци на изолацијата при дејствување на множества на пренапони, колкав е очекуваниот

број на прескоци во определен период на време, потоа колкав е бројот на испади и откази и колку се периодите на време меѓу два последователни прескоци, испади и откази. На тој начин се доаѓа до следните параметри врз основа на кои може да се согледа доверливоста на работата на изолацијата на објектите за висок напон: ризик за прескок, очекуваниот годишен број на прескоци, испади и откази и просечни интервали на време меѓу два последователни прескоци, испади и откази.

## 2. ПАРАМЕТРИ НА ДОВЕРЛИВОСТ НА ИЗОЛАЦИЈАТА

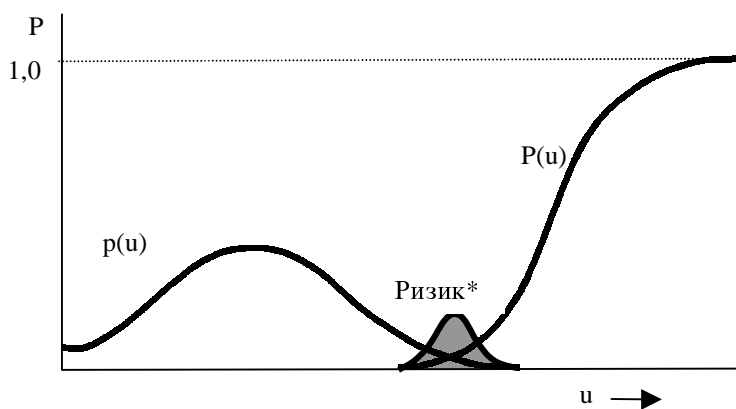
### 2.1. Ризик за прескок

Изолацијата на објектите за висок напон може да биде прескочена под дејство на случајни величини кои или ја намалуваат нејзината електрична цврстина, или ја зголемуваат јачината на електричното поле вдолж прескочниот пат. Според тоа, веројатноста за да настане прескок е еднаква на веројатноста истовремено да се остварат два случајни настани: да се појави пренапон  $U$ , со густина на веројатност  $p(u)$  кој ја напрегнува изолацијата и последователно да пробие изолацијата при вредност на пренапонот  $u$ , односно е еднаква на производот  $[p(u)du]P(u)$ , каде  $P(u)$ - веројатност да пробие изолацијата при вредност  $u$  на случајниот пренапон  $U$ , а се определува од кривата на ефект.

Ризикот за прескок  $R$  е основен параметар за доверливоста на работата на изолацијата на објектите за висок напон и врз основа на него се пресметуваат останатите параметри на доверливост. Се определува од кривите на ефект на единечните изоляции  $P(u)$  и густината на распределба на множеството пренапони  $p(u)$  кои се јавуваат на тие изоляции.

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} p(u)P(u)du . \quad (1)$$

Изразот (1) го определува математичкото очекување на веројатноста за прескок на изолацијата кога врз изолацијата дејствува пренапонот  $U$  (сл.1).



Слика 1. Графичко определување на ризикот.

\*)- кривата е дадена во размера што дозволува да биде видлива. Реално во целиот тек истата треба да лежи под кривите  $p(u)$  и  $P(u)$ .

## 2.2. Крива на ефект на изолациониот систем

Изолацијата на еден високонапонски објект е составена од низа единечни изолациони елементи и нивните карактеристики ја дефинираат изолацијата во целост. Експериментално е утврдено дека кривите на ефект  $P(u)$  на единечните елементи од некоја изолациона конструкција добро се сложуваат со нормалниот закон на распределба:

$$P_N(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u \frac{1}{N} \exp\left[-\frac{(u-u_{50\%})^2}{2\sigma^2}\right] dN. \quad (2)$$

За мали вредности на  $\sigma (\leq 0,01u_{50\%}, kV)$ , (2) може да се екстраполира со Хевисајдовата функција

$$P_H(u) = h(u - u_{50\%}). \quad (3)$$

Во горните изрази поедините параметри го имаат следното значење:  $u_{50\%}$  - 50% прескочен напон,  $\sigma$  - стандардно отстапување, а се определуваат експериментално за секој изолационен состав и облик на напонот.

Кривата на ефект на еден објект во целина може да се определи според карактеристиките на единечниот елемент од таа изолација испитан во лабораториски услови. Треба да се има предвид дека прескок макар на еден елемент значи прескок на изолацијата во целост. Ако, на пример, веројатноста за прескок на еден елемент при напон  $u$  е еднаква  $P_1(u)$ , тогаш веројатноста да не се јави прескок е  $1 - P_1(u)$ . Веројатноста на тоа, да на ниеден од  $m$  елементи не се јави прескок (не настане прескок на изолацијата во целост) е еднаква на производот од веројатностите да не настане прескок на сите елементи, односно

$$\prod_{i=1}^m [1 - P_i(u)] = 1 - P_m(u), \quad (4)$$

каде е  $P_m(u)$  - веројатност за да настане прескок на изолацијата (барем на еден елемент), составена од  $m$  единечни елементи.

Одтука, веројатноста за да настане прескок на изолацијата на објектот е

$$P_m(u) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_i(u)]. \quad (5)$$

Ако сите единечни елементи се еднакви  $P_1(u) = P_2(u) = \dots = P_m(u) = P_1(u)$ , тогаш (5) се упростиува

$$P_m(u) = 1 - [1 - P_1(u)]^m. \quad (6)$$

Ако е исполнет условот  $P_1(u) \ll (1/m)$  тогаш (6) може да се напише како

$$P_m(u) \approx mP_1(u), \quad (7)$$

односно веројатноста за прескок на еден од  $m$  елементите при напон  $u$  се определува со просто собирање на веројатностите за прескок на секој елемент.

Веројатноста за прескок на целата изолација е померена во насока на помали вредности на напонот во однос на веројатноста за прескок на единечен елемент. Тоа може да се процени според величината на 50%-от прескочен напон на изолацијата-  $U_{50\%,m}$ . Навистина, заменувајќи во (6)  $P_m(U_{50\%,m}) = 0,5$ , се добива

$$P_1(u_{50\%,m}) = 1 - \sqrt[2]{0,5}, \quad (8)$$

од каде според кривата  $P_1(u)$ , може да се определи  $u_{50\%,m}$ . Нека  $P_1(u)$  се менува

според нормалниот закон  $P_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp(-\frac{t^2}{2}) dt$ , тогаш односот меѓу 50%-те

прескочни напони на единечниот елемент  $u_{50\%,1}$  и на објектот-  $u_{50\%,m}$  може да се утврди од нормалната распределба  $P_1(t)$ , каде е  $t = (u - u_{50\%,1}) / \sigma_1$  и  $\sigma_1$  - стандардно отстапување на  $P_1(t)$ .

Ако се претпостави дека  $P_m(u)$  се менува според нормалниот закон може да се добие односот меѓу отстапувањата  $\sigma$  на објектот и единечниот елемент. Резултатите од тие пресметки се дадени во табела I.

Табела I

$m$	1	2	4	10	20	50	100	200	500
$z_{50\%} = \frac{u_{50\%,1} - u_{50\%,m}}{\sigma_1}$	0	0,55	1	1,5	1,84	2,2	2,45	2,7	3
$\beta = \frac{\sigma_m}{\sigma_1}$	1	0,81	0,7	0,6	0,54	0,47	0,42	0,38	0,35

Споредувајќи ги резултатите од пресметките на  $P_m(u)$  извршени според (6) и нормалниот закон на распределба со параметри  $u_{50\%,m}$  и  $\sigma_m$ , кои се дадени во табела I, се покажува дека при  $u \geq u_{50\%,m} - 2\sigma_m$  нормалниот закон дава добро совпаѓање со стварната зависност  $P_m(u)$ .

### 2.3. Воопштување на поимот "ризик"

Врз основа на (1), (5) и (6) за ризикот на прескок на изолациона конструкција составена од  $m$  единечни елементи, кои се изложени на исто множество пренапони, се добиваат изразите

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} P(u) \prod_{j=1}^m [1 - P_j(u)] du, \quad (9)$$

или

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} P(u) \{ -[1 - P_1(u)]^m \} du. \quad (10)$$

Изразите (1), (9) и 10) имаат ограничена примена и не може да се користат за систем составен од  $m$  единечни изолациони елементи на кои дејствуваат различни множества пренапони, што во пракса е редовен случај. Општиот случај, кој ги опфаќа сите видови изолации, се решава со примена на универзалниот израз:

$$R = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^m [1 - P_{i,j}(u_{i,j})] \quad (11)$$

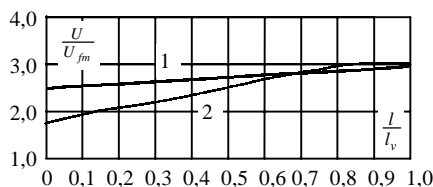
каде се:  $P_{i,j}(u_{i,j})$  - веројатност за прескок определена од кривата на ефект на  $j$ -от единечен елемент за пренапонот  $u_{i,j}$ , кој се јавува на него, кога се применува  $i$ -от причински настан, а  $N$  број на применети причински настани.

Да ја разгледаме примената на (11) за некои случаи.

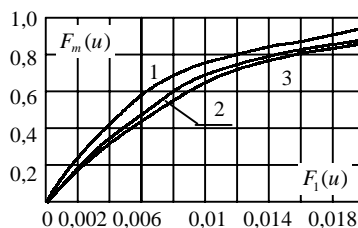
На сл.2 е наведена распределбата на амплитудите на пренапони долж еден 220 kV-ен вод во процесот на ЗАПВ. Таа распределба е искористена за пресметка на веројатноста за прескок на изолацијата на водот во функција од веројатноста за прескок на изолацијата на единечен елемент, која е подложена на дејство на најголемата вредност на пренапоните (на крај од водот) при варијација на должината на распонот, а величината  $\sigma_1 = 5\%$ .

Од сл.3 се гледа дека, ако веројатноста за прескок е  $P_m(u) \leq 0,5$ , тогаш односот  $P_m(u) / P_1(u) \approx 100$ .

Согласно (11) приближното равенство  $P_m(u) \approx 100P_1(u)$  значи, дека при истражување на доверливоста на изолацијата на водот стварната распределба на пренапоните долж водот може да биде условно заменета со рамномерна распределба, која одговара на најголемата вредност на пренапоните на водот. Притоа стварниот број на единечните изолациони места на водот-  $m$  треба да се замени со еквивалентен  $m_{ekv} = 100$ .



Сл.2 Распределба на амплитудите на пренапоните долж 220 kV вод со должина 200 km (крива 1).



Сл.3. Зависност на веројатноста за прескок на изолацијата на водот од прескокот на изолацијата на единичен елемент, кој е подложен на дејство на најголемите пренапони; 220 kV-ен вод, должина 200 km, должина на распонот 350 m (крива 3).



Пресметките на атмосферските пренапоните при директен удар на молња на 400 kV вод, покажуваат дека во зоната на дејствување на тие пренапони може да се наоѓаат изолаторите само на еден столб, односно три изолаторски синџири.

Општо земено, за тој случај е  $P_{pr,1}(u) \neq P_{pr,2}(u) \neq P_{pr,3}(u)$ , бидејќи секој од трите изолаторски синџири е напрегнат од пренапони, кои иако се резултат на еден ист удар на молња, сепак се различни (различни коефициенти на спрега, различни моментални вредности на погонскиот напон). Тогаш, ризикот од прескок на изолацијата на столбот, може да се определи според (12),

$$R_3 = 1 - \prod_{i=1}^3 [1 - P_{pr,i}(u_i)]. \quad (12)$$

Ако приликите на столбовите се различни, на пример, се разликуваат отпорите на заземјување, тогаш може да се очекува и средните ризици за прескок на поедините столбови да бидат различни. Од тие причини може да се воведат среден ризик за прескок на изолацијата на целиот вод, при дејството на атмосферски пренапони

$$R_m = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^3 P_{pr,i,j}(u_{i,j}) \quad (13)$$

каде е  $m$ - број на столбови на водот.

#### 2.4. Средно време меѓу два настани

Ризикот за прескок се уште не е доволен за проценка на доверливоста, бидејќи само врз основа на него не е можно да се утврди бројот на очекуваните прескоци, прекини на континуитетот на работата и откази на објектите. Тоа е логично, бидејќи ризикот за прескок е производ на само два случајни фактори: настанување на пренапонот и настанување на прескокот независно од времето. Тука не е опфатен третиот важен фактор: бројот на причински настани во определен временски интервал, обично во тек на една година.

Кога во тек на една година се појават  $N_g$  причински настани од ист вид ( $N_g$  - број на удари на молња;  $N_g$  - број на комутациони операции во некоја конфигурација и сл.) толку пати се јавуваат пренапони на единечната или сложената изолација на разгледуваната конфигурација. Ако е познат ризикот за прескоци  $R$ , тогаш годишниот број на прескоци-  $N_p$  на изолацијата, изнесува

$$N_p = N_g R, \quad (14)$$

Прескокот на надворешната изолација не предизвикува оштетувања, и изолацијата, по прескокот и гасење на лакот, самостојно може да се обнови, и понатака, без интервенција е способна за работа.

Со интервенцијата преку АПВ само дел од прескоците предизвикуваат испад на објектот. Бројот на годишните испади, во тој случај-  $N_{is}$  е:

$$N_{is} = N_g R_{APV} \quad (15)$$

Во овој број на испади се наоѓа и годишниот број на испади со оштетување на изолацијата- број на откази ( $N_{ot}$ ):

$$N_{ot} = P_{ot} N_{is} = P_{ot} (1 - P_{APV}) N_g R. \quad (16)$$

Веројатноста за успешност на АПВ-  $P_{APV}$  зависи од напонското ниво и може да се цени дека  $P_{APV} > 0,7$ . Веројатноста за оштетување на изолацијата  $P_{ot}$  е релативно мал; иако за него постои мал број на статистички податоци, може да се процени на бројка 0,1.

Просечните интервали на време меѓу два последователни прескоци, односно меѓу два последователни испади и прекини на континуитетот на работата на објектот, како и меѓу два последователни откази, представуваат просечни времиња на траење на работата без прескок, без испад и без отказ:

$$T_p = \frac{1}{N_g R}; \quad T_{is} = \frac{1}{N_g R (1 - P_{APV})}; \quad T_{ot} = \frac{1}{N_g R (1 - P_{APV}) P_{ot}} \quad (17)$$

Во случај на внатрешна изолација, пробојот претставува отказ (оштетување) и годишниот број на пробои и просечното време меѓу два последователни пробои се дадени со изразите (14) и првиот од (17).

Со определувањето на овие шест параметри, заедно со ризикот  $R$  за прескок се определува и доверливоста на работа на делови од системот и системот како целина.

Ако во системот има  $r$  објекти чии ризици се одредени при дејствување на истоврсни причински собитија, параметрите на доверливост на системот се:

$$N_{s,p} = \sum_{j=1}^r N_{g,j} R_j, \quad N_{s,is} = \sum_{j=1}^r (1 - P_{APU,j}) N_{g,j} R_j, \quad N_{s,ot} = \sum_{j=1}^r (1 - P_{APU,j}) P_{ot,j} N_{g,j} R_j \quad (18)$$

и соодветните времиња меѓу два последователни настани.

### 3. ВРЕДНОСТИ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ДОВЕРЛИВОСТ ЗА МРЕЖИТЕ 110, 220 И 400 kV

Новите постројки се проектираат или дотраените се реконструираат поаѓајќи од доверливоста, односно, параметрите на доверливост кои овие мора да ги имаат. Постојат низа фактори од кои зависи изборот на вредностите на параметрите на доверливост на изолацијата на високонапонските објекти.

Меѓу нив треба да се имаат во предвид: напонското ниво на објектот, неговиот век, цената на објектот и на неговите клучни елементи, величината и значајот на конзумот кој се напојува преку наведениот објект, како и можноста за негово повеќестрано напојување, специфичност на конзумот: непрекинатост на напојувањето, штети кои настануваат со прекин на технолошкиот процес, општествен значај на конзумот (болници, војни објекти и сл.), можност за алтернативно користење на други објекти во случај на испад на посматраниот објект и сл.

Светската пракса преферира:

- за надворешната изолација на надземните водови се дозволува 1 прескок како резултат на пренапони во тек на 5 години (за напони  $\geq 300 \text{ kV}$ ),

- за надворешна изолација на постројките од висок напон се дозволува 1 прескок како последица на пренапони во тек на 10 години,

- за внатрешната изолација на трансформаторите од висок напон се дозволува 1 пробој како последица на пренапони во тек на 600 години.

Во работните материјали на IEC 71-2, 28/11/FDIS од 1996 година се наведува дека е прифатлив годишен број на откази од пренапони од 0,001 до 0,004, што зависи од времето и цената на отклонување на грешките; за надземните водови е прифатлив годишен број на прескоци од атмосферските пренапони на 100 km од водот од 0,1 до 20 (поголемите вредности се однесуваат на дистрибутивните водови); за комутационите пренапони прифатлив број на прескоци по една операција е од 0,001 до 0,01.

За непрекинатата работа на изолацијата на објектот од висок напон од пресудно значење се времињата на откази на неговите елементи (изолациони конструкции) и на група елементи. Времето на траење до отказот на разгледуваниот елемент или група елементи е случајна величина чија густина на распределбата го следи експоненцијалниот закон:

$$a(t) = \frac{1}{T} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \quad (19)$$

каде се:

$t$ - време до отказот, години

$T$ - средна вредност на времето до отказот.

Интегралната функција на ова распоредба ја определува кумулативната веројатност за настанување на времето до отказот, односно ризикот на отказ:

$$R(t) = 1 - \exp(-t/T) \quad (20)$$

додека доверливоста на работа  $Q(t)$ - веројатноста за работа без отказ, се определува од (20):

$$Q(t) = 1 - R(t) = \exp(-t/T) \quad (21)$$

Од овој израз, за средната вредност на времето до отказот ( $T_{ot}$ ) и годишниот број на откази ( $N_{ot}$ ) на елементите или групата елементи, во тек на разгледуваниот период  $t_v$ , се добива:

$$T_{ot} = -t_v / \ln Q(t_v), \quad N_{ot} = -1 / T_{ot} \quad (22)$$

За да се разгледа глобално изборот на параметрите на доверливост на изолацијата на објектите рационално е објектите да се сврстат во:

а) група на многу скапи, сложени и најзначајни објекти со внатрешна изолација (енергетски трансформатор);

б) група едноставни конструкции со внатрешна изолација, кои полесно се заменуваат (мерни трансформатори, прекинувачи, кондензатори и сл.);

в) група објекти со надворешна, обично самообновлива изолација во постројката (изолаторски синџири, потпорни и апаратни изолатори и сл.); и

г) група објекти со надворешна самообновлива изолација- надземни водови (изолаторски синџири и сл.).

За енергетските трансформатори (група а)) се поаѓа од доверливоста, која се смета дека е задоволителна при  $Q(t_v) \geq 95\%$ . Со оваа доверливост се очекува дека во тек на определен период, обично во тек на целиот животен век на трансформаторот  $t_v$ , нема да дојде до отказ на трансформаторот. За век од  $t_v=30$  години и  $Q(t_v) = 0,95$ , просечниот интервал на време меѓу два еден по друг откази и очекуваниот број на откази изнесува:  $T_{ot} = -30/\ln 0,95 = 584,9$  години,  $N_{ot} = 1,7 \cdot 10^{-3}$  откази/година.

За поедини елементи од групата б)- мерни трансформатори и сл., при доверливост  $Q(t_v) = 0,85$  и век  $t_v=30$  години, параметрите на доверливост се:

$$T_{ot} = 184,6 \text{ години}, N_{ot} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ откази/год.}$$

Изолационите конструкции од в) и г) се конструкции со надворешна самообновлива изолација; до нејзино оштетување може да дојде како последица на пробој или од термичко дејствување на енергетскиот електричен лак кој го прати секој прескок.

За сите конструкции на постројката просечното време и годишниот број на грешки во тек на  $t_v=30$  години, при доверливост  $Q(t_v) = 0,75$ , се добива:  $T_{ot} = 104,3$  год,  $N_{ot} = 9,6 \cdot 10^{-3}$  откази/год.

За надземни водови со должина  $100 \text{ km}$  ( $t_v=30$  год.,  $Q(t_v) = 0,4$ ) параметрите на доверливост на целокупната изолација се:  $T_{ot} = 32,7$  години,  $N_{ot} = 3,0 \cdot 10^{-2}$  откази/годината.

Во табела II дадени се параметрите на доверливост за надворешната и внатрешната изолација, а врз основа на горните пресметки.

Табела II.

Изолациони конструкции		$N_{g,p}$ (пр./год)	$N_{g,is}$ (исп./год)	$N_{g,ot}$ (ошт./год)	$T_p$ (год)	$T_{is}$ (год)	$T_{ot}$ (год)	
400 kV	ТР (еден)	ген. ост.		$1,25 \cdot 10^{-3}$ $1,67 \cdot 10^{-3}$			800 600	
	Мерни ТР (еден)			$5,0 \cdot 10^{-3}$			200	
	Надв.самооб. изол.- постр. (цела изолација)		$100 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	10	10	100
	Надв.самооб. изол.- водови (цела изолација)		3,3-6,7	(330-670) $\cdot 10^{-3}$	(33-67) $\cdot 10^{-3}$	0,15-0,3	1,5-3,0	15-30
220 kV	ТР (еден)	ген. ост.		$1,25 \cdot 10^{-3}$ $1,67 \cdot 10^{-3}$			800 600	
	Мерни ТР (еден)			$5,0 \cdot 10^{-3}$			200	
	Надв.самооб. изол. - постр. (цела изолација)		$100 \cdot 10^{-3}$	$100 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	10	10	100
	Надв.самооб. изол.- водови (цела изолација)		4,0-6,7	(400-670) $\cdot 10^{-3}$	(40-67) $\cdot 10^{-3}$	0,15-0,25	1,5-2,5	15-25

110 kV	ТР (еден)	ген. ост.			$1,25 \cdot 10^{-3}$ $2 \cdot 10^{-3}$			800 500
	Мерни ТР (еден)				$6,7 \cdot 10^{-3}$			150
	Надв.самооб. изол. - постр. (цела изолација)		$125 \cdot 10^{-3}$	$125 \cdot 10^{-3}$	$12,5 \cdot 10^{-3}$	8	8	80
	Надв.самооб. изол.- водови (цела изолација)		5-10	0,5-1,0	$(50-100) \cdot 10^{-3}$	0,1-0,2	1-2	10-20

#### 4. ЗАКЛУЧОК

1. Дали располагаме со статистички податоци за:

- бројот на откази на објектите на нашиот електроенергетски систем;
- систематизација на отказите според: опремата, напонското ниво, видот на отказот и др.

2. Дали предложените параметри на доверливост може да се сметаат како реални за нашиот ЕЕС.

#### 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Н.Ф. Котеленец, Н.Л. Кузнецов. Испитаниџ и надежностџ електрических машин. "Всшаџ школа". Москва, 1988
- [2]. Г.Н. Александров, В.Л. Иванов, В.Е. Кизеветер. Електрическаџ прочностџ наружноџ високоволттноџ изолџциџ. " нергиџ", 1969
- [3]. Г.С. Кучинскиџ, В.Е. Кизеветер, ?С. Пинталџ, Изолџциџ установок високого напрџжениџ. " нергоатомиздат", 1987.
- [4]. Z. Zdravkovi}, P. Vukelja. Parametri pouzdanosti rada izolacije objekata visokih napona pri delovanju sklopnih i atmosferskih prenapona. "Elektroprivreda", br.3, 1997.
- [5]. IEC 71-2, 28/115/FDIS, 1996.

д-р Воислав Јанков, дипл.инж.  
Електротехнички факултет, Скопје

Dr.Hab. Stanislaw Grzybowski  
Director of High Voltage Laboratory  
Electrical and Computer Engineering Department  
Mississippi State University

**ПРОЦЕНА НА НИВОТО НА ПРЕСКОЦИ НА ИЗОЛАЦИЈАТА НА  
ДИСТРИБУТИВНИТЕ ВОДОВИ ПРЕДИЗВИКАНИ ОД УДАР НА ГРОМ  
ВО НИВНАТА БЛИЗИНА**

**КРАТКА СОДРЖИНА**

Во трудов е предложен еден метод за проценка на нивото на прескоци на надземните дистрибутивни водови што се предизвикани од удар на гром во нивната непосредна близина. Методот ги зема во обзир сите параметри кои се однесуваат на обликот на струјата на празнењето, статистичката распределба на амплитудата и стрмината на струјата на празнењето, висината на водовите како и волт-секундната карактеристика на изолаторите. Нивото на прескоци најмногу зависи од нивото на изолација на водот и од неговата висина. Согласноста со малубројните експериментални резултати е многу добро.

**ABSTRACT**

A new method is proposed to estimate the flashover rates of the overhead distribution lines caused by lightning stroke to nearby ground. The method takes into consideration all parameters related to the stroke current waveshape, statistical distributions of the stroke peak current and its rise time, line height and V-t characteristic of insulators. The flashover rates depend mostly on the line insulation withstand and the line height. A very good agreement was found between computed results and field observations.

## 1. УВОД

Кога атмосферското празнење ќе погоди точка во близината на надземен вод, после одредено закаснување, наречено време на ретардација, емитираниот електромагнетен бран почнува да го енергизира водот. Преоден, импулсен пренапон почнува да патува кон неговите краеви. Индуцираниот напон го достигнува својот максимум точно или многу блиску до точката што е најблиску до местото на празнењето. Тој максимум може да е доволно висок за да предизвика прескок на изолацијата на водот. Зависи од параметрите на струјата на празнењето (неговата просторна и временска распределба по должината на каналот на молњата), нормалното растојание помеѓу водот и местото на празнењето, како и од висината на водот. Генерално, проблемот на индуцираните напони е сложен, и е предмет на повеќе различни студии во последниве две децении [1-5].

Експерименталните и теоретските студии [6-8] покажуваат дека ударот на гром во близината на надземен дистрибутивен вод може да предизвика прескок на изолацијата на водот, а со тоа и да предизвика испад. Зависно од нивото на изолацијата на водот, блиските атмосферски празнења може да предизвикуваат поголем број на прескоци, а со тоа и испади, отколку директните удари. Еден од главните интереси на проектантот на дистрибутивните водови е да ја предвиди доверливоста на системот. Методот предложен во овој труд им дава можност да разгледуваат и земат во обзир повеќе елементи кои влијаат на ризикот за прескок и испад на водот.

## 2. ОСНОВНИ ПРЕДПОСТАВКИ

### 2.1. Ниво на индиректни удари на молња во надземен дистрибутивен вод

Не сите удари на молња кои што наидуваат во областа околу дистрибутивниот вод се интересни за оваа студија (сл.1). Празнењата што имаат повисока амплитуда и што наидуваат поблиску до водот, во просторот  $A_d$ , ќе завршат како удар директно во водот. Празнењата со истата максимална вредност на струјата, кои наидуваат надвор од просторот на директни удари, но сеуште во рамките на  $A_i$ , ќе завршат во тлото и ќе индуцираат напон повисок од изолационото ниво на водот. И на крајот, празнењата кои наидуваат надвор од зоната на индиректни празнења  $A_i$ , ќе индуцираат напонски импулси, но нивната амплитуда нема да биде доволна за да предизвикаат прескок.

Бројот (нивото) на прескоци на должина од 100 km, предизвикани од индиректно празнење се:

$$N_i = N_g \cdot \sum_{t_f} \sum_I A_i \cdot p(I) \cdot p(t_f) \cdot \Delta I \cdot \Delta t_f, \quad (1)$$

каде  $N_g$  е густината на атмосферските празнења во рамно тло [ $\text{km}^{-2}$  година $^{-1}$ ],  $A_i$  е површината на индиректните празнења кои предизвикуваат прескок [ $\text{km}^2 / 100 \text{ km}$ ],  $p(I)$  и  $p(t_f)$  се густините на веројатност

за појава на атмосферско празнење со амплитуда на струјата  $I$  и време на пораст (челото)  $t_f$  соодветно, додека пак  $\Delta I$  и  $\Delta t_f$  се чекори на пораст на струјата и времето.



Слика 1. Зони на директни и индиректни атмосферски празнења во надземен вод

## 1.2. Густини на веројатност на амплитудата и времето на пораст на струјата на празнењето

Предпоставено е дека статистичката промена на максималната струја и времето на пораст на струјата на празнењето се одвива според логаритамско-нормален закон (2) и (3).

$$p(I) = \frac{1}{I \cdot \sigma_I \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[ -0.5 \cdot \left( \frac{\ln I - \ln \bar{I}}{\sigma_I} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$p(t_f) = \frac{1}{t_f \cdot \sigma_{t_f} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp \left[ -0.5 \cdot \left( \frac{\ln t_f - \ln \bar{t}_f}{\sigma_{t_f}} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Согласно со [8,9], дистрибуциите на амплитудите и времето на пораст на струите на првото повратно празнење се карактеризираат со следните очекувани вредности и стандардни девијации:

$$\bar{I} = 24 \text{ kA}, \sigma_I = 0.72 \quad (4)$$

$$\bar{t}_f = 3.83 \mu\text{s}, \sigma_{t_f} = 0.553$$



### 1.3. Зона на индиректни празнења

Зоната на индиректни празнења  $A_i$  на должина од 100 km, е дадена со (5):

$$A_i = \begin{cases} 0.2 \cdot (D_i - D_d), & D_i \geq D_d \\ 0, & D_i < D_d \end{cases} \quad (5)$$

каде  $D_i$  и  $D_d$  се во метри.

Имајќи го на ум Електрогеометрискиот модел, за сл.1 и еднакви ударни растојанија кон проводниците и тлото [8], ширината на зоната на директни удари  $D_d$  е:

$$D_d = \begin{cases} S, & S < H \\ \sqrt{S^2 - (S - H)^2}, & S \geq H \end{cases} \quad (6)$$

каде  $H$  означува висина на водот, а  $S$  е ударното растојание според термините на електрогеометрискиот модел [10]. Во тој случај  $S$  е:

$$S = 8 \cdot I^{0.65}. \quad [\text{m}, \text{kA}] \quad (7)$$

Ширината на зоната на индиректни празнења  $D_i$  е определена со изолационото ниво, односно волт-секундната карактеристика (V-t) изолацијата на водот. Максималниот напон индуциран на водот од индиректното празнење е пресметуван со моделот [12]. Тој модел ги зема во обзир амплитудата на струјата на празнењето, времето на пораст и опаѓање, растојанието и висината на водот.

$$V_p = k_u \cdot I \cdot \exp(k_0 + k_1 \cdot \ln D + k_5 \cdot \ln^5 D) \quad (8)$$

$k_u$ ,  $k_0$ ,  $k_1$  и  $k_5$  се коефициенти на моделот, а  $D$  е растојанието од водот до местото на ударот.

Моделот на индуцирани напони е развиен со употреба на т.н. Модел на мобилен струен извор [14] за да се представи временската и просторната распределба на струјата на првото повратно празнење, по должината на каналот. Функцијата (9), од [15] е користена за моделирање на обликот на струјата во основата на каналот на молњата.

$$i(t) = \frac{I}{\exp(-\sqrt{T \cdot \tau})} \cdot \frac{(t/T)^2}{1 + (t/T)^2} \cdot \exp(-t/\tau) \quad (9)$$

T и  $\tau$  се параметри на времето на пораст и опаѓање на струјата на празнењето, соодветно. Коэффициентите на моделот на индуцирани напони се следниве:

$$k_0 = 2.25 + 3.25 \cdot \exp\left(-\frac{|T - 0.1|^{1.45}}{0.55}\right), \quad (10)$$

$$k_1 = -\frac{k_0 - \sqrt{k_0}}{3.45}, \quad (11)$$

$$10^4 \cdot k_5 = 0.7 \cdot \exp\left(-\frac{|T - 0.19|^{1.4}}{0.19}\right) + 0.18 \cdot \left(1 - 0.667^{\frac{\tau - 28.85}{28.85}}\right) - 1.15, T > 0.1 \mu s \quad (12)$$

$$10^4 \cdot k_5 = -0.9 + 7.5 \cdot (T - 0.02), T \leq 0.1 \mu s$$

$$k_u = \frac{H}{10} \cdot (1.0 - 0.1875 \cdot (T - 0.8)) - 3.333 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{4.0}{H^{0.6}} \cdot \tau \quad (13)$$

Параметрите на времето на пораст и опаѓање на струјата на празнењето се определуваат имплицитно од:

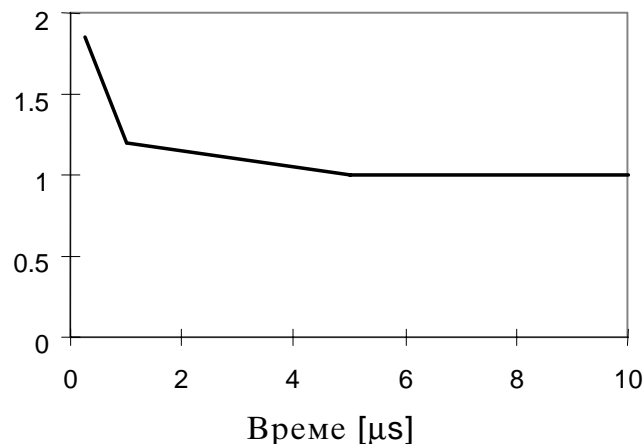
$$t_f = \sqrt[3]{2 \cdot T^2 \cdot \tau} \quad (14)$$

$$t_d = \sqrt{2 \cdot T \cdot \tau} + \tau \cdot \ln 2. \quad (15)$$

Ширината на зоната на индиректни празнења за дадено време на пораст и амплитуда е дефинирана со следниов услов:

$$V_{v-t} = V_p(D_i). \quad (16)$$

V-t карактеристиката на изолаторите во оваа студија е презентирана на сл.2.



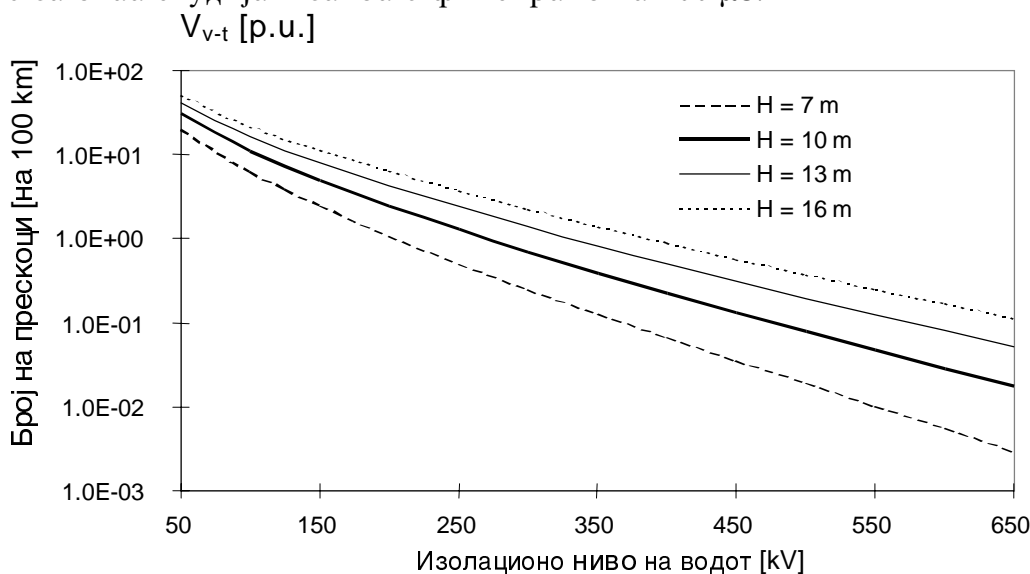
Слика.2 V-t карактеристика на изолаторите во единечни вредности

Се предпоставува дека основното изолационо ниво кореспондира со константниот дел од карактеристиката и дека обликот на карактеристиката не се менува многу за различни изолациони нивои. Времето на пораст на индуцираниот напон е предпоставено дека е еднакво со времето на пораст на струјата на повратното празнење.

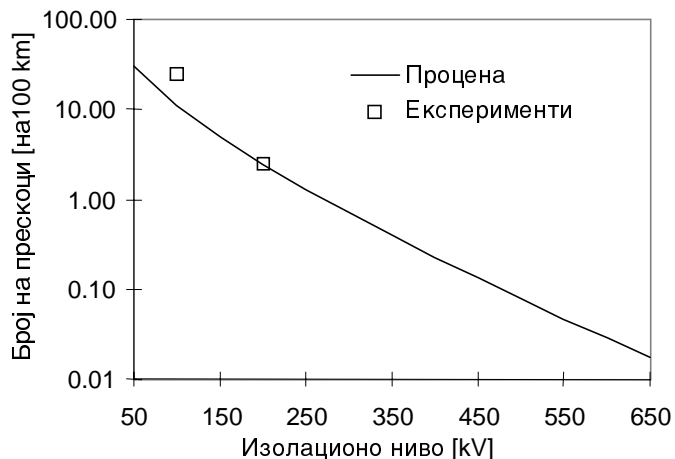
Важно е да се напомене дека за одредени парови на параметри ( $I$ ,  $t_f$ ), ширината на зоната на директни празнења  $D_d$  станува поширока од ширината на зоната на индиректни празнења  $D_i$ , и во тој случај зоната на индиректни празнења  $A_i$  е еднаква на нула. Физички, тоа значи дека празнењето што ги има тие параметри ќе заврши во тлото без да предизвика прескок.

#### 1.4. Пресметковна процедура

Амплитудата на струјата на повратното празнење е варирана од 1 до 250 kA, а времето на пораст од 0.2 до 10  $\mu$ s. Времето на опаѓање нема битно значење за оваа студија и затоа е фиксирано на 100  $\mu$ s.



Слика.3 Ниво на прескоци на дистрибутивен вод поради индуцирани атмосферски празнења во зависност од изолационото ниво и висината на водот за густина на празнења од  $1 \text{ km}^{-2}$



Слика.4 Споредба на резултатите што ги дава моделот за прескоци поради индуцирани празнења со експерименталните податоци [16], за висина на водот од 10 m , и средна густина на празнења од  $1 \text{ km}^{-2}$

За да се осознае како нивото на прескоци зависи од изолационото ниво на водот, тоа е менувано од 50 до 650 kV, со тоа што V-t карактеристиката од сл.2 е употребена како модел на изолаторите.

Што се однесува до геометријата на водот, анализата е спроведена за висина на водот од 7, 10, 13, и 16 m.

Сите резултати се однесуваат на единична средна густина на празнења во рамно тло ( $N_g = 1 \text{ km}^{-2} \text{ година}^{-1}$ ).

### 3. РЕЗУЛТАТИ ОД СТУДИЈАТА

Резултатите од студијата се презентирани на сл.3. Нивото на прескоци на надземниот вод, поради индуцирани удари на молња, најмногу зависи од изолационото ниво на водот. На пример, за висина на водот од 10 m, промената на изолационото ниво од 100 на 200 kV, го редуцира бројот на испади 4.5 пати.

Зависноста на нивото на прескоци од висината на водот не е линеарна од две причини. Првата нелинеарност е содржана во ширината на зоната на директни празнења  $D_d$  (6), а втората во индуцираниот напон (8). Висината на водот има исто така значајна улога за бројот на прескоци. На пример за вод со изолационо ниво од 400 kV и висина од 13 m, нивото на прескоци е 2.1 пати поголемо од случајот на 10 m висок вод, со истата изолација.

### 4. СПОРЕДБА СО ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ПОДАТОЦИ

За да се провери како методот ја одсликува реалноста, добиените резултати се споредени со резултатите од набљудувањата. За несреќа, колекцијата на експериментални резултати е многу сиромашна, и се состои само од две вредности. Тие се определени на 10 km долгиот и 10 m високиот експериментален дистрибутивен вод во Јужноафричката Република, и се презентирани од Ериксон [16]. Во тој проект, во текот на тригодишната регистрација на индуцираните напони, регистрирани се 13 индуцирани напони годишно што имаат амплитуда повисока од 100 kV, за измерена густина на празнења од  $5.2 \text{ km}^{-2}$  годишно [16]. Претпоставуваќи 100 km долг вод, и густина на празнења од  $1 \text{ km}^{-2}$  годишно, последново е еквивалентно на 25 прескоци годишно. Според моделот од сл.3, за истиот вод може да се предвидат 11.2 прескоци годишно. Соодветно, експериментите на истиот вод покажаа 2.5 пренапони на 100 km годишно со амплитуди повисоки од 200 kV, додека пак моделот од сл.3 предвидува 2.47, што е несомнено многу добра согласност.

Резултатите од споредбата се дадени на сл.4.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Бројот на прескоци поради удар на гром во близината на надземните водови е битен елемент од доверливоста на водот. Тоа посебно се однесува на пониските напонски нивои. Предложениот метод дава можност да се процени бројот на прескоци на надземен дистрибутивен вод и да се одберат параметри на водот кои ќе обезбедат и гарантираат добри перформанси. Имајќи ги на ум неизбежните примарни предпоставки за развој на моделот, тој обезбедува добра согласност со експерименталните резултати.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Master M.J., Uman M.A.: "Lightning Induced Voltages on Power Lines: Theory", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-103, No.9, September 1984.
- [2] Agrawal A.K., Price H.J., Gurbaxani S.H.: "Transient Response of a Multiconductor Transmission Line Exited by a Nonuniform Electromagnetic Field", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.EMC-22, 1980.
- [3] Diendorfer G.: "Induced Voltages on an Overhead Line Due to Nearby Lightning", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol.32, No.4, November 1990.
- [4] Nucci C.A., Diendorfer G., Uman M.A, Rachidi F., Ianoz M., Mazzetti C.: "Lightning Return Stroke Current Models With Specified Channel Base Current: A Review and Comparison", Journal of Geophysical Research, Vol.95, No.D12, Pages 20395-20408, November 20, 1990.
- [5] Nucci C.A, Rachidi F., Ianoz M.V., Mazzetti C.: "Lightning-Induced Voltages on Overhead Lines", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.35 No.1, February 1993.
- [6] De la Rosa F., Valdivia R., Perez H., Loza J.: "Discussion About the Inducing Effects of Lightning in an Experimental Power Distribution Line in Mexico", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.3, July 1988.
- [7] Erriksson A.J., Stringfellow M.F, Meal D.V.: "Lightning - Induced Overvoltages on Overhead Distribution Lines", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-101, No.4 April 1982.
- [8] Chowdhuri P.: "Estimation of Flashover Rates of Overhead Power Distribution Lines by Lightning Strokes to Nearby Ground", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.4, No.3, July 1989.
- [9] Mousa A.M., Srivastava K.D.: "A Revised Electrogeometric Model for the Termination of Lightning Strokes on Ground Objects", Proceedings of the 1988 International Aerospace and Ground Conference on Lightning and Static Electricity, Oklahoma City, Oklahoma, April 1988, pp.342-352.
- [10] IEEE Working Group Report: "A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-104, No.4, April 1985.
- [11] IEEE Working Group Report: "Calculating the Lightning Performance of distribution Lines", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.5, No.3, July 1990.
- [12] Jankov V.: "Estimation of the Maximal Voltage Induced on an Overhead Line Due to the Nearby Lightning", 96 WM 077-8 PWRD, January 1996, Baltimore, USA.
- [13] Jankov V.: "Influence of the Nearby Lightning Stroke Parameters on the Voltage Induced on th Transmission Lines", International Conference on Electrical Engineering, Taejon, Korea, 1995.
- [14] Heidler F.: "Traveling Current Source Model for LEMP Calculation", 6<sup>th</sup> symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, Switzerland, March 1985.
- [15] Heidler F.: "Analytische Blitzstromfunktion zur LEMP-Berechnung", 18. Internationale Blitzschutzkonferenz (ICLP), München, Bundesrepublik Deutschland, September 1985.
- [16] Erriksson A.J: Discussion on the paper [8].
- [17] Jankov V., Grzybowski S.: "Flashover Rates of Overhead Distribution Lines Caused by Nearby Lightning Strokes", 10<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, Canada, August 1997.

**ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО-СИГРЕ**

---

Љубе Магденовски, дипл.ел.инж.

Зоран Петков, дипл.ел.инж.

Институт за заварување "ЈУГ" а.д. Скопје

**ЗАМЕНА НА РАДИОАКТИВНИТЕ СО РАНОСТАРТУВАЧКИТЕ  
ГРОМОБРАНИ. ТЕХНИЧКО-ЕКОНОМСКА ОПРАВДАНОСТ**

**КРАТКА СОДРЖИНА**

Во овој труд обработена е заштитата од атмосферски празнења на еден конкретен објект во Скопје, кој досега се заштитувал со радиоактивен громобран. Поради забраната за употреба на радиоактивните громобрани потребно е да се изведе нова громобранска заштита за истиот објект. Со цел да се пронајде најоптималното решение т.е. да се согледа неговата техничко-економска оправданост обработена е заштитата од атмосферски празнења на спомнатиот објект со примена на: класичната изведба (заземјен Фарадеев кафеуз), Франклиновите стапести громобрани и раностартувачките фаќачи.

Во трудот посебен акцент е ставен на заштитата со раностартувачкиот фаќач (громобран), како релативно ново современо решение кое веќе се применува во светот.

**SUMMARY**

In this paper, a lightning protection of a certain building in Skopje will be treated. So far radioactive lightning protectors has been used. The latest regulations require their replacement with different lightning conductors.

In order to provide the most optimal solution for this problem, emphasizing its technical cost effectiveness, we analyzed three directions: Mashed Cage lightning conductors, Single Rods lightning conductors and Early Streamer Emission lightning conductors.

In this paper a special consideration will be given to Early Streamer Emission lightning conductor as a contemporary solution, widely used in the world.

**Клучни зборови:** Атмосферско празнење, громобранска заштита, техничко–економска оправданост, громобран, раностартувачки фаќач, Фарадеев кафеуз, Франклинови стапести громобрани.

## 1. ВОВЕД

Целта на громобранската инсталација е да ги заштити луѓето и имотите од директен удар на гром, а претставува императив на современото општество и се врши од социјални и економски причини.

Според прописите на повеќе светски стандарди постојат следниве концепти за изведба на громобранска инсталација:

- класична изведба (Фарадеев кафез),
- Франклинови стапести громобрани,
- громобрани со извори на јонизирачко зрачење (радиоактивни громобрани),
- раностартувачки громобрани (фаќачи).

Секоја громобранска инсталација се состои од прифатен дел кој има улога да ги прими празнењата, одводен дел и заземјувач за да може струјата на празнењето безбедно да се спроведе до земјата.

Во периодот од 1968-1979 год во Република Македонија се инсталирани преку 200 парчиња радиоактивни громобрани. Најчесто кај нив како јонизирачки дел се има користено радиоактивниот елемент  $^{60}\text{Co}$  со полупериод на распаѓање  $T=5$  години, што значи да зоната на нивното дејство со текот на времето се намалува и после одредени временски периоди тие треба да се заменуваат со нови.

Поради овој недостаток, а и поради штетното радиоактивно зрачење и точно недефинираниот ниво на заштитата радиоактивните громобрани во повеќето земји се забранети за употреба (кај нас од декември 1996 год.). Затоа потребно е сите тие да се заменат со други изведби на громобранска заштита.

Концептите со Фарадеев кафез и Франклинови стапести громобрани бараат изведба на голем број прифатни елементи, одводни спроводници и заземјувачи проследени со поголеми градежни зафати што е нееконично и може да доведе до нарушување на изгледот на фасадите од објектите што се штитат. Кај објектите со голема висина, самата изведба е особено тешка и опасна за луѓето кои работат.

Изведбата со раностартувачки фаќач бара изведба на еден до два одводни спроводника и исто толку заземјувачи. Тоа значи да при замената на радиоактивните громобрани, ова решение претставува најоптимално бидејќи се искористуваат постоечките одводни водови и заземјувачи, а се менува само прифатниот елемент и нема никакви градежни интервенции на самиот објект.

За да може да се согледа техничко-економската оправданост на замената на радиоактивните со раностартувачките громобрани во овој труд ќе биде обработена заштитата од атмосферски празнења на еден конкретен објект со примена на спомнатите три решенија.

## 2. ЗАМЕНА НА РАДИОАКТИВЕН ГРОМОБРАН НА ОБЈЕКТОТ "ФАКУЛТЕТ ЗА МУЗИЧКА УМЕТНОСТ И МБУЦ - СКОПЈЕ"

Објектот "Факултет за музичка уметност и МБУЦ - Скопје" е изграден од армиран бетон и е со многу стаклени површини по страничните фасади. Кровната конструкција му е рамна тераса со хидроизолациони слоеви, а дел од неа неодамна поради техничка неисправност е покриена со трапезен пластифициран лим. Самиот објект се состои од повеќе функционални целини со различни висини, а опкружен е со бетонски површини под кој се наоѓаат гаражи. Неговата вкупна должина е 90 метри, ширина 53 метри, а највисока точка 23,4 метри. Намената му е школување на ученици и студенти. Изгледот на објектот "ФМУ и МБУЦ-Скопје" е прикажан на сл.1.



Сл.1 Факултет за музичка уметност и МБУЦ-Скопје

Објектот до сега е штитен од атмосферски празнења со радиоактивен громобран, кој се состои од радиоактивен јонизирачки елемент  $SO_{60}$  како прифатен дел, два одводни спроводника и два заземјувача (по еден за секој одвод). Потребно е истиот да се замени и изведе нова громобранска инсталација. Со цел да се избере најоптималното решение на неговата замена во понатамошниот дел ќе биде разгледана громобранската заштита на овој објект со примена на останатите три концепта.

### 2.1. Заштита од атмосферски празнења со примена на Фарадеев кафез

Според се уште кај нас важечките технички JUS прописи за класична громобранска инсталација (Сл.лист СФРЈ бр.13/68) овој објект доволно ќе биде заштитен од атмосферски празнења ако е опколен со заземјена мрежа која ја создаваат прифатни и одводни водови. При тоа ширината на "окцата" на мрежата не смее да биде поголема од 20 m. Прифатните водови се полагаат на соодветни кровни потпори меѓусебно најмногу одалечени 1,5 m. Одводните водови се полагаат на сидни потпори најмногу одалечени 2 m и треба преку мерни споеви да се поврзат со громобранскиот заземјувач кој во облик на прстен го опкружува објектот.

Имајќи ги во предвид димензиите и формата на објектот не е тешко да се покаже дека потребниот број на прифатни и одводни водови е 26. Должините на прифатните, одводните водови и заземјувачот можат да се одредат според следните релации:

- за прифатни водови  $L_1 = 4a + 6b,$
- за одводни водови  $L_2 = 16h,$
- за заземјувач  $L_3 = 2(a+b) + 2(b+6).$



каде се:

$a = 90 \text{ m}$  - должина на објектот,

$b = 53 \text{ m}$  - ширина на објектот,

$h = 20 \text{ m}$  - просечна висина на објектот.

Според ова при изведбата на ваков вид громобранска инсталација ќе се употребат: 1308 метри поцинкувана лента за прифатни, одводни водови и заземјувач, 600 парчиња потпори (држачи) за лента, 16 парчиња мерни споеви со соодветни механички заштити и друг ситен непредвиден материјал.

Треба да се напомене дека е потребен и доста голем обем на градежни работи како што се: разбивање на бетонски површини за ископ на земја, ископ на земја за канали за полагање на заземјувачот (околу  $100 \text{ m}^3$ ), изработка на скелиња и др.

## 2.2. Заштита од атмосферски празнења со Франклинови стапести громобрани

Франклиновите стапести громобрани се формирани од фаќалки, одводи и заземјувач. Заштитната зона на еден стапест громобран претставува простор ограничен со ротационата површина чија генератриса може да се определи со релацијата:

$$r_x = 1,6 \frac{h - h_x}{1 + \frac{h_x}{h}} \quad (1)$$

каде се:

$h$  - висина на громобранот,

$h_x$  - посматрано ниво над површината на земјата, со заштитен радиус  $r_x$ ,

$r_x$  - радиус на заштитната зона на висина  $h_x$ .

За да биде заштитен од директни удари на гром, објектот во потполност треба да се наоѓа во конусноформираниот простор, кој претставува заштитна зона на громобранот. При пресметката на заштитната зона ќе се користи методот со два конуса при кој генератрисата на површината може да се прикаже со искршена линија.

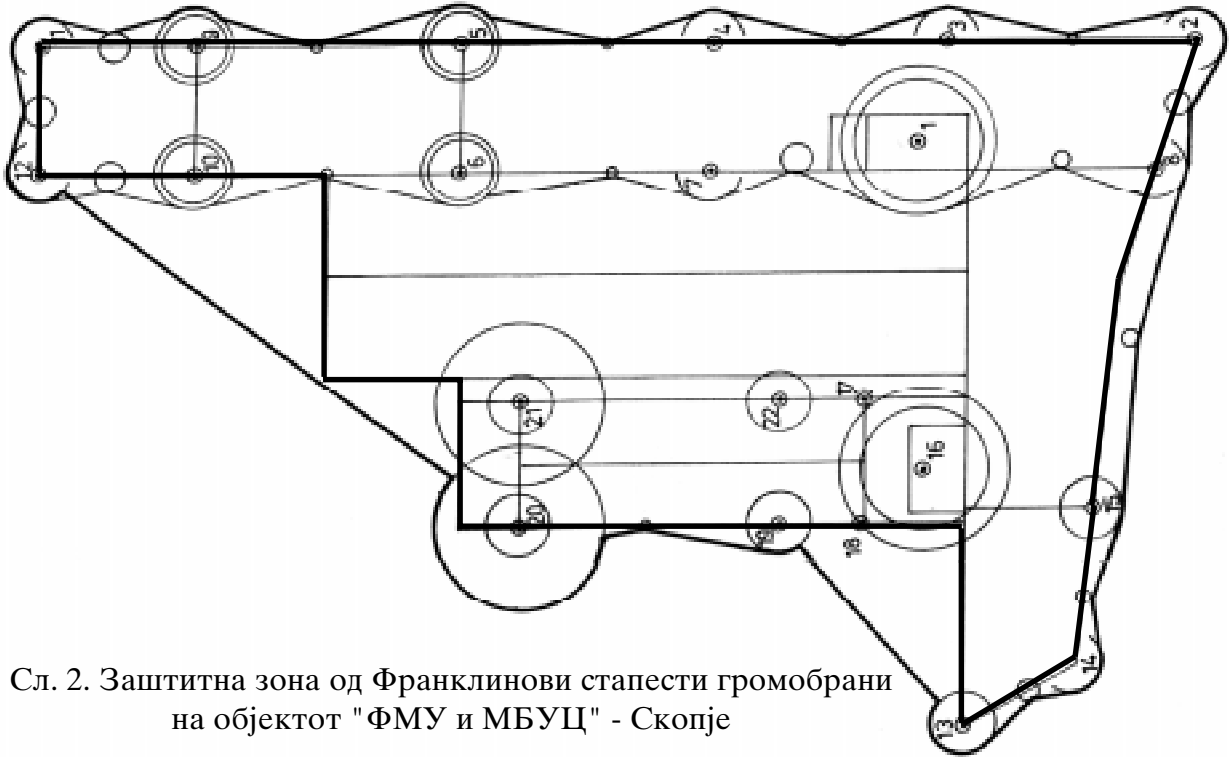
Една од отсечките на таа искршена линија, претставува дел од правата која го соединува врвот на громобранот со точката на површината на земјата одалечена за  $0,75 h$  од оската на громобранот, а другата осечка претставува дел од правата која ја поврзува точката на громобранот на височина  $0,8 h$ , со точката на површината на земјата одалечена од громобранот  $1,5 h$ .

Според тоа заштитниот радиус на ниво  $h_x < 2/3 h$  е

$$r_x = 1,5h \left(1 - \frac{h_x}{0,8 h}\right) \quad (2)$$

На ниво  $h \geq 2/3 h$  заштитниот радиус е:

$$r_x = 0,75h \left(1 - \frac{h_x}{h}\right) \quad (3)$$



Сл. 2. Заштитна зона од Франклинови стапести громобрани на објектот "ФМУ и МБУЦ" - Скопје

Квалитетот на заштитата во случај на повеќе громобрани се оценува со споредување на дијаметарот на кругот кој минува низ врвовите на громобраните со  $8(h-h_x)$ . Ако е  $D \leq 8(h-h_x)$  тогаш објектот е заштитен од атмосферски празнења.

Поради својот обем, пресметките за потребниот број на стапести громобрани и нивната зона на заштита за објектот кој е предмет на овој ракопис не се прикажани. Потребниот број на стапести фаќачи (громобрани) за да објектот во целост биде заштитен од атмосферски празнења е 22. Нивната заштитна зона е прикажана на сл.2.

За изведба на ваков вид громобранска заштита потребни се: 22 челични столба за монтажа на громобрански фаќалки и исто толку фаќалки, потоа 500 метри поцинкувана лента, 250 парчиња држачи за лента, вкрсни парчиња, мерни споеви, механички заштити и др.

Исто така и овде се неминовни градежно-земјаните работи за монтажа на одводните водови и заземјувачите. Неминовни се земјените ископи и разбивањето на бетонските површини што го опкружуваат објектот за изведба на заземјувачите.

### 2.3. Заштита од атмосферски празнења со раностартувачки громобран (фаќач)

Громобранската заштита со раностартувачки фаќач е во многу поефикасна од претходно изложените типови на заштита што е и експериментално потврдено во специјализираниот камп за испитување на атмосферски празнења и громобрани во Флорида, САД (Camp Blanding - Florida - USA). Од друга страна самата изведба на целокупната громобранска инсталација е поедноставна и поекономична, а нејзиното проектирање е покомплексно. Предностите на раностартувачкиот фаќач се следните:

- широк избор на радиус на заштита,
- максимална ефикасност,
- тотална автоматика,

- активен е само кога има ризик од атмосферско празнење.

Современите стандарди предвидуваат различни нивоа на заштита од атмосферски празнења при што за секој објект се одбира соодветно ниво на заштита во зависност од:

- материјалот од кој е изграден објектот,
- присутноста на луѓе во објектот,
- присутноста на запаливи и останати опасни материи,
- вредност на содржината на објектот,
- локација на објектот и висина на објектите во неговата околина.

Во стандардот IEC 1024-1-1 од 1993 год и францускиот стандард NFC 17-102 од 1995 год се разликуваат повеќе нивоа на заштита и во нив е опишана постапката како за еден објект се избира потребното ниво на заштита. Во табелата I дадени се нивоата на заштита според стандардот NFC 17-102.

Табела I

Ниво на заштита	Ефикасност E	Υδρνο ρατοφμε D, m	Струφνα πρζνεωε I, kA
Πρω νι ω ο δοδανι μερκι ναζφ τι τα	$E > 0,98$		
Πρω νι ω	$0,98 \geq E > 0,95$	20	2,8
ς το ρο νι ω	$0,95 \geq E > 0,80$	45	9,5
Τρετο νι ω	$0,80 \geq E > 0$	60	14,7

Иако во светот досега има инсталирано над 150.000 парчиња фаќачи "PREVECTRON" оваа заштита во Р. Македонија е релативно нова, па затоа ќе дадеме краток опис на самиот фаќач и принципот на неговата работа.

Како сите громобрани така и овој тип се состои од прифатен дел, одводен дел и заземјувач.

Прифатниот дел е составен од два система на електроди и тоа:

- нискоенергетски систем за собирање на електрицитетот,
- систем на електроди кој го ослободува нагорниот лидер.

Во куќиштето од прифатниот дел на фаќачот е залиен т.н. стартувачки дел кој овозможува ослободување на јоните (нагорен лидер) во многу кратко време и прецизен момент т.е. пред сите други објекти во неговата околина. Фаќачот се монтира на јарбол и треба да се наоѓа најмалку 2 метри над објектите кои ги заштитува.

Секој фаќач треба да има најмалку еден одводен спроводник. Два одводни спроводника се потребни кога висината на објектот што се заштитува е поголема од 28 m или кога хоризонталната должина на одводникот е поголема од неговата вертикална должина. Секој одводен спроводник треба да е поврзан со овој заземјувач, а неговиот отпор на распострирање треба да е помал од 10 Ω.

Приближувајќи се во скокови спрема земјата, надолниот лидер вертикално под себе создава силно електрично поле. Ваквото поле предизвикува од раностартувачкиот фаќач да се ослободи нагорен лидер. Двата лидера се судираат при што се воспоставува јонизиран канал низ кој струјата на громот ќе го испразни својот електричен полнеж. Ефикасноста на овие громобрани се изразува преку ΔТ-време на предначење, кое покажува за колку побрзо овој фаќач ќе реагира пред сите други типови громобрани т.е. тоа е време за кое раностартувачкиот фаќач порано ќе го исфрли нагорниот лидер во однос на обичен стапест громобран со иста геометрија и при исти услови.

Бараната вредност на ефикасноста на заштитата од атмосферски празнења се пресметува според изразот:

$$E=1-\frac{N_c}{N_d} \quad (4)$$

каде се:

$N_c$  - прифатлива максимална вредност на просечниот годишен број на удари на гром кои можат да предизвикаат оштетувања на објектот.

$N_d$  - зачестеност на директни удари на гром во објектот, односно просечен број директни удари на гром во објектот во една година.

Стандардот ИЕС 1024-1-1 не дава вредности за  $N_c$  што би можеле да се сметаат за препорачани ниту дава постапка како тие би можеле да се определат. Во тој стандард се остава проектантот или инвеститорот да ја одреди вредноста за  $N_c$ . Меѓутоа стандардот NFC 17-102 предлага постапка за проценка на  $N_c$  и постапка за одредување на ефикасноста  $E$ .

За таа цел се користат следните равенки:

$$N_d = N_g \cdot C_1 \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

$$N_c = 5,5 \cdot 10^{-3} / C \quad (6)$$

$$C = C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 \quad (7)$$

каде што е:

$N_g$  - просечна годишна зачестеност на удари на гром по  $\text{km}^2$  за регионот во кој се наоѓа штитениот објект,

$A_e$  - еквивалентна изложена површина на штитениот објект и се дефинира како површина која има иста зачестеност на директни удари на гром како и самиот објект,

$C_1$  - коефициент кој зависи од околината на заштитуваниот објект,

$C_2$  - коефициент кој зависи од карактеристиката на конструкцијата на објектот,

$C_3$  - коефициент кој зависи од содржината на штитениот објект,

$C_4$  - коефициент кој зависи од намената на објектот,

$C_5$  - коефициент кој зависи од последиците на атмосферското празнење во објектот.

Просечната годишна зачестеност на удари на гром може да се пресмета со релацијата:

$$N_g = 0,04 \cdot N_k^{1,25} \quad (8)$$

каде е:

$N_k$  - број на денови со грмотевици во текот на годината.

Според податоците добиени од Хидрометеоролошкиот завод на Република Македонија за Скопската област:

$$N_k = 34 \text{ дена/година}$$

$$N_g = 0,04 \cdot 34^{1,25} = 3,3 \text{ удари/km}^2 \text{ година}$$

Пресметувајќи ја еквивалентната изложена површина и избирајќи ги коефициентите  $C_1 \div C_5$  од соодветните стандарди, со користење на релациите (5) и (6) се добива:

$$N_c = 1,83 \cdot 10^{-3} \text{ удари/година}$$

$$N_d = 12,76 \cdot 10^{-3} \text{ удари/година.}$$

Според (4) бараната ефикасност за конкретниот објект е:  $E = 1 - 1,83/12,76 = 0,85$  или според табелата I одговара второ ниво на заштита на кое одговара ударно растојание  $D = 45 \text{ m}$ . Појавата на нагорен лидер од врвот на раностартувачкиот фаќач ќе биде значително порано од евентуалните нагорни лидери од другите објекти од околината. Ако се земе во предвид минималната брзина за развој на нагорен трасер од  $v = 1 \text{ m}/\mu\text{s}$  и податокот да од раностартувачки фаќач PREVECTRON-2 модел S 4.50 започнува нагорен трасер за  $\Delta T = 50 \mu\text{s}$  порано отколку од другите делови во околината, за неговата должина се добива:  $\Delta L = v \cdot \Delta T = 1 \cdot 50 = 50 \text{ m}$

Радиусот на заштитна зона на ниво  $h$ ,  $m$  под врвот на фаќачот се пресметува према изразот

$$R_p = \sqrt{h(2D-h) + \Delta L(2D + \Delta L)} \quad (10)$$

каде:

$h$  - висина од точката што се штити до фаќачот,

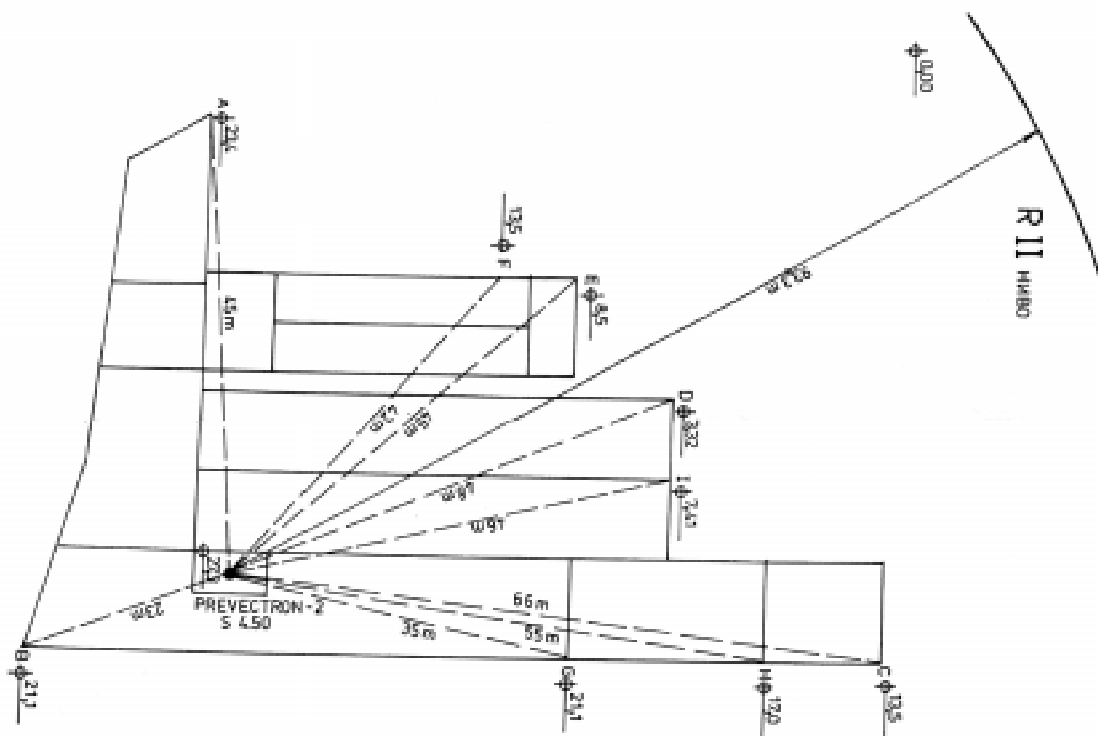
$D$  - ударно растојание кое за второ ниво на заштита е  $D=45 \text{ m}$ .

Во следната табела дадени се вредностите на максималниот заштитен радиус  $R_p$ ,  $m$  за најодалечените критични точки на штитениот објект за кои е потребно да се проектира заштитата.

Табела II.

Најодалечна критична точка од фаќачот	Нормално растојание на ниво од фаќачот $R$ , $m$	Вертикално растојание на ниво од фаќачот $h$ , $m$	Максимално заштитно растојание $R_p$ , $m$
A	45	3,9	69
B	23	6,2	87
C	66	13,8	89
D	48	23,4	92,5
E	46	18,8	91,3
F	42	13,8	89
G	35	6,2	87
H	55	9,9	88
I	46	19,9	92

Бидејќи максималното заштитно растојание на анализираниите точки е поголемо од хоризонталното растојание на тие точки од фаќачот, тоа значи да сите анализирани карактеристични точки ќе бидат опфатени со заштитата, а со тоа и целиот објект ќе биде заштитен од атмосферски празнења.



Сл. 3. Заштитна зона од раностартувачки фаќач PREVESTRON-2 S4.50 на објектот "ФМУ и МБЦ" - Скопје

При изведбата на овој вид на заштита можат да се искористат постојните водови и заземјувачи од радиоактивниот громобран и не се потребни никакви градежни работи. Изведбата би се состоела само со замена на радиоактивниот со раностартувачкиот фаќач на постоечкиот челичен столб.

Употребувајќи релативни единици на чинење за обемот на работите, за количината на материјалите, за работната рака, при евентуална изведба на опишаните решенија за замена на радиоактивниот громобран на "ФМУ и МБУЦ" - Скопје и меѓусебно споредувајќи ги произлегува да: решението со раностартувачки фаќач е 3 пати поефтино отколку решението со Франклинови стапести громобрани, а скоро 6 пати поефтино од решението со Фарадеев кафез.

### 3. ЗАКЛУЧОК

Од изнесеното и техничко-економската анализа за конкретниот објект може да се заклучи при замена на радиоактивните громобрани најадекватно решение е решението со раностартувачкиот громобран. За разлика од другите видови заштити, изведбата на заштитата од атмосферски празнења со раностартувачки громобран е поефикасна и има најмал обем на работи, а со тоа и најмала цена на чинење.

Предноста на раностартувачките громобрани се состои и во тоа што поради својата голема заштитна зона се штитат не само објектите туку и просторот околу нив. Затоа тие се многу погодни и при заштита на отворени простори како што се тениски, фудбалски и др. игралишта, плажи, плоштади, пазари, базени, т.е. секаде каде постои масовен собир на луѓе.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Технички прописи о громобранима (Сл.лист СФРЈ, бр. 13/68, 11/96)
- [2]. IEC 1024-1 Protection of structures against lightning - Part I: General principles
- [3]. IEC 1024-1-1 Protection of structures against lightning - Part I: General principles-section I: Guide A: Selection of protection levels for lightning protection systems
- [4]. NF C 17-102 Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals
- [5]. JUS N.B4.810 (Сл.лист СФРЈ, бр.11/96) Штапне хватаљке са уређајем за рано стартовање
- [6]. "Техника на висок напон" - Љ. Миланковић
- [7]. "Висок напон" - Р. Миновски
- [8]. Франклинов штап са уређајем за генерисање и емисију јона, Научни скуп о громобранима - С.Смиљанић, Технички факултет - Чачак, 1991
- [9]. Paratonnerre a dispositif d'amorçage PREVECTRON®-2
- [10]. In situ lightning rods tests and analysis, triggered Lightning Camping Florida, 1993
- [11]. "Атмосферско празнење и техника заштите" - Чедомир Вујовић, Технички факултет - Нови Сад, 1997 година





д-р Ристо Миновски, ЕТФ, Скопје  
Александар Шекерински, дипл.инж.  
Благој Јанков, дипл.инж.  
Ацо Петров, дипл.инж.  
Аце Ристески, дипл.инж.  
Електростопанство на Македонија, Скопје

## **ИЗБОР И ПРИМЕНА НА *МО* ОДВОДНИЦИ ЗА ПРЕНАПОНИ**

### **СОДРЖИНА**

Во трудот се изнесени изводи од препораката за избор и примена на *МО* одводници за пренапони во високонапонските мрежи, изработена од РГ при Електростопанството на Македонија.

### **ABSTRACT**

This article contains brief description of the recommendations for choosing and implementing metal oxid (MO) surge arresters in HV networks. These recommendations are developed by a team "Elektrostopanstvo na Makedonija" (ESM).

**Клучни зборови:** Металоксидни одводници за пренапони, координација на изолацијата

### **1. УВОД**

На I-то Советување ([1]) беа презентирани резултатите од работата на РГ за избор на *МО* одводници за среднонапонските мрежи. Меѓувреме, истата РГ ја припреми и ја даде на стручна расправа Препораката "Избор и примена на *МО* одводници за пренапони". Препораката која е предмет на овој труд, се однесува на мрежите 110, 220 и 400 kV, кои во наши услови работат со заземјени неутрални точки и ги дели на: подрачје 1:  $U_n = 110$  и  $220$  kV; подрачје 2:  $U_n = 400$  kV.

За системите од подрачјето 1, напрегањата за изолацијата на опремата потекнуваат пред се од атмосферски празнења кои се јавуваат на водовите приклучени на постројката. Во системите од подрачјето 2, покрај атмосферските, во важност добиваат комутационите пренапони.

Пренапоните, кои може да предизвикаат оштетувања на опремата, треба да се намалат со соодветна координација на карактеристиките на одводниците за пренапони (во понатамошниот текст ОП) и на изолацијата на опремата.

### **2. КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОДВОДНИЦИТЕ ЗА ПРЕНАПОНИ**

За предностите на металоксидните ОП без искришта над класичните одводници подетално може да се види во [1]. Овде ги наведуваме карактеристиките на металоксидните ОП, кои во значителна мерка се разликуваат од оние на класичните одводници.

Основните карактеристики на ОП се: траен работен напон, номинален напон, номинална струја на одведување и преостанат напон при номинална струја на одведување. Покрај тоа, треба да се имаат во предвид енергетската подносливост, влијанието на загадувањето врз карактеристиките на ОП и др.

*Траен работен напон*-  $U_c$  ( $\equiv COV$  – *continuous operating voltage*) е дозволена ефективна вредност на напонот со индустриска фреквенција, кој може трајно да биде приклучен на краевите на ОП.

*Номинален напон*-  $U_r$  (*rated voltage*) е дозволена ефективна вредност на напонот со индустриска фреквенција со ограничено време на траење (10 sec), кој може да се приложи на краевите на одводникот од кога тој претходно апсорбирал номинален износ на енергија.

*Номинална струја на одведување*-  $I_n$  е темна вредност на ударната струја со облик  $8/20 \mu s$ , која служи за класификација на ОП во поглед на нивното струјно оптеретување.

*Заштитно ниво* во однос на атмосферски импулс е максималниот преостанат напон на ОП при номинална струја на одведување. Заштитното ниво при комутационен импулс се применува за заштита на опремата од комутациони пренапони и тоа е преостанатиот напон при струи: за 110 kV- 0,5 kA; за 220 kV - 1 kA, а за 400 kV мрежи- 2 kA.

*Способност за абсорпција на енергија* го определува максималниот дозволен износ на енергија кој ОП е во состојба да го абсорбира без да се лади а притоа да не се променат неговите гарантирани карактеристики. Оваа вредност -  $w_r$  се изразува во  $kJ/kV$  од номиналниот напон ( $U_r$ ) и го дефинира однесувањето на ОП при ограничување на пренапоните.

Напрегањето на ОП при комутација на долги неоптеретени водови, според ИЕС 99-1 е дефинирана како *класа на одведување на водот на ОП* и, како карактеристика на еден ОП претставува број кој ја одредува способноста на ОП од 10 и 20 kA да ја апсорбира енергијата кога низ него се празнат долги водови.

*Способност за аморизирање на итриисокој* е способност на ОП во случај на негова преоптеретеност, да ја спроведе струјата на куса врска без силна експлозија која може да ја оштети блиската опрема или да ги повреди луѓето.

*Опорносста спрема загадувањето*, конструктивно е тесно поврзана со должината на струјната патека на куќиштето на ОП, кое треба да ги издржи: сите тестови на загадување без да настане пробој; сите можни покачувања на температурата кои се резултат на промени во распределбата на напонот предизвикани од загадувањето, без да се оштетат отпорничките блокови; внатрешните парцијални празнења, предизвикани од пореметената распределба на напонот, без да се оштетат отпорниците.

ОП за нормални услови на работа треба да издржат средни загадувања спрема класа 2 од ИЕС 71-2. За поедините класи на загадување се предвидени минимални специфични должини на струјната патека  $d_{cd,min}$ , според каталозите на производителите.

### 3. ИЗБОР НА ОДВОДНИЦИ ЗА ПРЕНАПОНИ "ФАЗА-ЗЕМЈА"

3.1. Привремените пренапони-  $U_{TOV}$  се карактеризираат со амплитудата ( $U_{TOV}$ ) и траењето ( $t_{TOV}$ ). Кај правилно проектираните мрежи постои минимална можност за појава на привремени пренапони како резултат на резонантни појави. Поради тоа како најчести предизвикувачи на привремените пренапони се појавите на споеви со земја и испадите на товар.

*Привремени пренапони предизвикани од споеви со земја ([1]).* Траењето на овие пренапони зависи од применетата заштита и за изборот на ОП, за оваа класа на напони, приближно може да се користат вредностите: -заштита на водот 0,2 sec; -помошна заштита 1 sec.

*Привремени пренапони предизвикани од испад на товар.* Со испаѓање на товар се менува конфигурацијата на мрежата, се јавуваат симетрични пренапони, чија амплитуда се менува во тек на нивното траење. Во колку е позната зависноста на таа амплитуда од времето, како репрезентативна ( $U_{TOV}$ ) се усвојува максимално остварената амплитуда, а пак како репрезентативно траење ( $t_{TOV}$ ) се усвојува времето во текот на кое добиените амплитуди се поголеми од  $0,9U_{TOV}$ .

Амплитудата на привремените пренапони предизвикани од испад на товар се определува според изразот:

$$U_{TOV} = k_{it} \frac{U_m}{\sqrt{3}}, [kV] \quad (1)$$

каде  $k_{it}$  - коефициент на пренапони при испад на товарот.

Вообичаено се нудат следните вредности за овие коефициенти:

*1. Исклучување на товар од мрежен ТР*

Коефициенти на пренапони

Постројки со голема моќност на куса врска 1,05

Постројки со мала моќност на куса врска 1,20.

Траењето на овие пренапони е зависно од операцијата на регулирањето на напонот со регулационата склопка на ТР 10- 100 sec

*2. Исклучување на товар од генераторски ТР*

Коефициенти на пренапони

Турбогенератори 1,4

Хидрогенератори 1,5

Траење 3 sec.

3.2. **Траен работен напон на ОП -  $U_c$ .** Основно барање е, во системи со автоматско исклучување на спој со земја, максималната вредност на трајниот работен напон ( $\sqrt{2}U_c$ ) да биде еднаква или поголема од максималниот работен напон  $U_{f,max}$ . Од наведеното следи дека трајниот работен напон на ОП мора да ја задоволува неравенката  $U_c \geq \frac{U_m}{\sqrt{3}}$ . (2)

**3.3. Номиналниот напон на ОП-**  $U_r$  се избира врз основа на привремените пренапони-  $U_{TOV} (\equiv TOV)$ , земајќи ги во предвид нивните амплитуди и траење. Основно барање е карактеристиката: напон со индустриска фреквенција- време, за ОП да биде над соодветната временска карактеристика на  $TOV$  во точката каде е поставен ОП.

Откако се утврди  $U_{TOV}$  како функција од времето, тогаш енергетската под-носливост на ОП, даден преку слична крива, треба да е во целост над неа. Апроксимативно, амплитудата и траењето на  $TOV$  чие траење е помеѓу 0,1 sec и 100 sec, може да биде конвертирана во еквивалентна амплитуда со траење од 10 sec:

$$U_{eq,i} = U_{TOV,i} \left( \frac{t_{TOV,i}}{10} \right)^m, \quad (3)$$

каде се

$U_{TOV,i}$  - амплитуда на  $i$ -от  $TOV$ ,  $t_{TOV,i}$  - траење на  $i$ -от  $TOV$  (sec),  $U_{eq,i}$  - амплитуда на  $i$ -от еквивалентен 10 sec-ен  $TOV$ ,  $m$ - експонент кој го покажува односот на карактеристиката при индустриска фреквенција спрема временската карактеристика на ОП. Овој експонент варира помеѓу 0,022 и 0,018 со средна вредност- 0,02.

Номиналниот напон на ОП треба да биде еднаков или поголем од добиениот највисок еквивалентен  $TOV$ , односно

$$U_r \geq \max(U_{eq,1}, U_{eq,2}, \dots, U_{eq,n}). \quad (4)$$

**3.4. Номиналната струја на одведување** се избира спрема струјата на атмосферско празнење низ ОП. По правило, може да се употребат следните вредности за номиналната струја на одведување:

Подрачје 1: ( $U_m = 123$  и  $245$  kV) -10 kA.

Подрачје 2:  $U_m = 420$  kV - 10 kA или 20 kA.

**3.5. Прелиминарен избор на ОП.** Врз база на пресметаните вредности на трајниот работен напон  $U_c$ , номиналниот напон  $U_r$  и номиналната струја на одведување  $I_n$  на ОП, од каталогот на производителот се избира ОП со определени податоци.

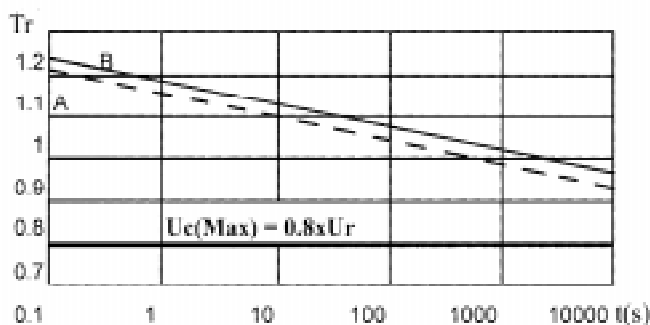
**3.6. Проверка на избраниот номинален напон на ОП според упатствата на производителот.** Производителите на ОП во својот каталог даваат крива (сл.1) која ја прикажува издржливоста на ОП спрема привремените пренапони зависно од нивното траење. Кривата е од карактер  $T_r = f(t_{TOV})$ . Притоа,  $T_r$  е коефициент на издржливост на ОП и претставува однос на амплитудата на привремените пренапони спрема номиналниот напон на ОП, даден со релацијата:

$$T_r = \frac{U_{TOV}}{U_r}. \quad (5)$$

За познати времиња на траење на привремените пренапони  $t_{TOV}$ , од сл.1 се добива коефициентот  $T_r$ . Конечно од  $T_r = \frac{U_{TOV}}{U_r}$ , при познати  $U_{TOV,i}$ , следи  $U_{r,i} = \frac{U_{TOV,i}}{T_{r,i}}$ . Номиналниот напон на ОП мора да ја задоволи релацијата

$$U_r \geq \max(U_{r1}, U_{r2}, \dots). \quad (6)$$

Заменувајќи ја вредноста за  $U_{r,i}$  во претходната формула, се добива  $U_r$ . Ако истиот е помал од веќе избраниот номинален напон, тогаш тој останува како номинален напон на ОП.



Сл.1. Карактеристики на издржливост на МО одводник за пренапони при дејствување на привремените пренапони. А- ОП веќе има апсорбирано номинална специфична енергија; В- без претходно енергетско општеување.

### 3.7. Останати параметри на прелиминарно избраниот ОП

Во каталогот на производителот за избраниот ОП се наоѓаат и следните карактеристики:

- класа на одведување на водот (*line discharg class*)
- номинална специфична енергетска подносливост  $w_r [kJ / kV]$ .

Исто така се наоѓаат и заштитните карактеристики на избраниот ОП, во облик  $U_p = f(I_{od})$ .

#### 3.7.1. Енергетска подносливост на ОП

а) Проверка на класата на одведување на водот на ОП. Заради малите разлики меѓу преостанатите напони при комутационите операции, може да се усвои:  $U_{ps,1} \approx U_{ps,2} \approx \dots \approx U_{ps,min}$ , каде е  $U_{ps,min}$  преостанат напон кој за соодветниот ОП одговара на минималната вредност на специфицираната комутациона струја.

Усвојувајќи  $U_{ps} = U_{ps,min}$  се добива поголема вредност на енергијата  $W$  која ја апсорбира ОП, но и поголема сигурност во однос на енергетското напрегање.

За да се определи енергетското напрегање на ОП (IEC 37) при операциите на комутација се користи релација

$$W = 2U_{ps} (U_s - U_{ps}) \frac{T}{Z}, \quad (7)$$

каде, се:

$W$ - енергијата која ја апсорбира ОП,  $[kJ]$ ;  $U_{ps}$  - заштитно ниво на ОП при комутациони импулси,  $[kV]$ ;  $U_s$  - амплитуда на комутациониот пренапон,  $[kV]$ ;  $Z$ - бранова импеданса на водот,  $[\Omega]$ ;  $T$ - време на простирање на бранот вдолж водот,  $[sec]$ ;  $l$ - должина на водот,  $[km]$ ;  $v$ - брзина на простирање на бранот  $[km / sec]$ .

Воведувајќи ги:

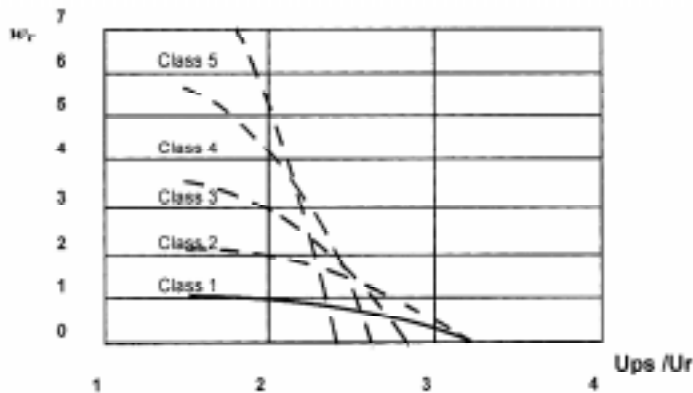
$w_r = \frac{W}{U_r}$  - специфична апсорбирана енергија на ОП;

$k_p = \frac{\sqrt{3}U_s}{\sqrt{2}U_m}$  - коефициент на пренапони,

може да се добие зависноста на  $k_p$  од  $w_r$  за различни должини на водот

$$k_p = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}U_m} \left( \frac{U_r Z v w_r}{2U_{ps} l} + U_{ps} \right). \quad (8)$$

Кога се проверува класата на одведување на водот на ОП се користи кривата на сл.2 која ја прикажува зависноста на специфичната енергија  $w_r$  од односот на преостанатиот напон при комутационен импулс  $U_{ps}$  спрема номиналниот напон  $U_r$  за различни класи на одведување на водот.



Сл.2. Зависноста на специфичната енергија  $w_r$  од односот  $U_{ps}/U_r$ , за различни класи на одведување на водот.

За точката  $\left( \frac{U_{ps, \min}}{U_r}, w_{r, \max} \right)$  може да се избере класата на одведување на водот,

која е дадена со една од кривите а која лежи над нејзе. За позната вредност на  $U_{ps}$  и  $U_r$ , се определува апсцисата  $U_{ps}/U_r$ .

Ординатата  $w_{r, \max}$  се определува врз база од напрегањата на ОП при некоја од комутационите операции на некој од водовите приклучени кон постројката.

Вредностите на апсорбираната специфична енергија на ОП се однесуваат на ОП кои би биле поставени на далекуводните полиња на соодветните водови, затоа и се користени коефициентите на пренапони за празен од на водот.

б) Проверка на енергетската поднесливост на одводниците за пренапон. Очекуваното енергетско напрегање на прелиминарно избраниот ОП за време на атмосферски празнења на водот се врши врз основа на изразот

$$W = \left[ 2U_{pr} - nU_{pl} \left( 1 + \ln \frac{2U_{pr}}{U_{pl}} \right) \right] \frac{U_{pl} T_1}{Z} \quad (9)$$

каде:

$W$ -енергија апсорбирана од ОП, [kJ];  $U_{pl}$  - преостанат напон при номинална струја на одведување, [kV];  $U_{pr}$  - 50%-ен прескочен напон на изолацијата на водот, при негативен поларитет, [kV];  $n$ - број на водови приклучени на постројката каде е поставен ОП;  $T_1$  - еквивалентно траење на струјата на молњата, кое ги вклучува првиот и наредните удари, [msec]. Типична вредност е 30 msec.

Најнеповолен е случајот за  $n=1$ . Притоа, од пресметаното  $W$  може да се определи  $w_r = W/U_r$ , кое мора да биде помало од декларираната вредност за прелиминарно избраниот ОП.

### 3.7.2. Проверка на останатите карактеристики на ОП

а) Класа на амортизирање на притисокот. Исправниот избор на ОП во поглед на способноста на неговиот притисен осигурач треба да ја задоволи неравенка  $I \geq I_{k3}$ .

б) Надворешна изолација (куќиште). ОП во поглед на неговата надворешна изолација (куќиште) мора да ги издржи следните поднесливи напони:

- за ОП од сите номинални напони,  $U_{ap} \geq 1,3U_{pl}$ ;

- за ОП со  $U_r \geq 200$  kV,  $U_{sp} \geq 1,25U_{ps}$ ,

каде се:

$U_{ap}$  - поднеслив атмосферски напон на ОП, [kV];  $U_{pl}$  - заштитно ниво на ОП во однос на атмосферски импулс, [kV];  $U_{sp}$  - поднеслив комутационен напон на ОП, [kV];  $U_{ps}$  - заштитно ниво на ОП во однос на комутациониот импулс, [kV].

За определена струја се определува  $U_{ps}$ , додека  $U_{pl}$  веќе е определен во т.2. Заменувајќи ги  $U_{ps}$  и  $U_{pl}$  во  $U_{ap} \geq 1,3U_{pl}$  односно  $U_{sp} \geq 1,25U_{ps}$  се добива  $U_{ap}$  и  $U_{sp}$ . Врз основа на овие податоци се избира од каталогот на производителот соодветно куќиште, со соодветни податоци за  $U_{ap}$  и  $U_{sp}$ .

в) Должина на струјната патека. Изборот на должината на струјната патека на ОП зависи од еколошките и климатските услови на кои може да биде изложен ОП во својата работа.

Во каталогот на производителот на ОП за избраното куќиште се даваат следните податоци за куќиштето: припадност на определена класа на загадување; висината,  $l_0$ ; дијаметар  $D$ ; должина на струјната патека  $D_{cd}$  (creepage distance).

Должината на струјната патека на куќиштето мора да го задоволи условот  $D_{cd} \geq d_{cd,min} U_m$ , каде е  $d_{cd,min}$  минимална специфична должина на струјната патека која се добива од каталогот на производителот.

з) *Механичко ой̄ӣерей̄ување*. Под влијание на ветер расте механичкото оптеретување во хоризонтална насока, и на површината од ОП се јавува сила  $F$  која се пресметува од релацијата:

$$F = pl_0 Dk_w, \quad (10)$$

каде се:

$p$ - притисок на ветерот на површината од ОП,  $N/m^2$ ;  $l_0$ - должина/висина на ОП,  $[m]$ ;  $D$ - среден дијаметар на ОП,  $[m]$ ;  $k_w$ - коефициент на корекција на притисокот за објекти со цилиндричен облик.

д) *Поднослива голема струја*. Со оваа струја се карактеризира способноста на ОП да ја одведе струјата на молњата при непосреден удар на молња. Таа е дадена во каталогот на производителот.

## 4. ПРИМЕНА НА ОДВОДНИЦИТЕ ЗА ПРЕНАПОНИ

### 4.1. Принцип на координација на изолацијата

Начелото на координација на изолацијата подносливиот номинален напон го определува во четири чекори:

1. Определување на репрезентативниот пренапон-  $U_{rp}$
2. Определување на координациониот поднослив напон на опремата во тек на нејзиниот животен век-  $U_{cw}$  од релацијата  $U_{cw} = K_c U_{rp}$ , каде е  $K_c$ - коефициент на координација а  $U_{cw}$  е најниска потребна вредност на подносливиот напон на изолацијата во услови кога дејствува репрезентативниот пренапон  $U_{rp}$ .
3. Определување на бараниот поднослив напон на опремата при стандардни услови на испитување-  $U_{rw}$  од изразот  $U_{rw} = K_s U_{cw}$ , каде е  $K_s$  е заштитен коефициент за кој се усвојува  $K_s = 1,15$ , за надморска височина до 1000  $[m]$ .  $U_{rw}$  е различен од координациониот поднослив напон  $U_{cw}$  заради стареење на изолацијата во погон, отстапувањата при изведбата и сл.
4. Избор на номиналниот поднослив напон на опремата-  $U_w$ , кој мора да ја задоволува неравенката  $U_w \geq U_{rw}$ , при ист облик на бараниот и номиналниот/ стандарден поднослив напон.

### 4.2. Заштитна зона на ОП

ОП има за цел да ја штити опремата на постројката од пренапони. Громобранската заштита на приодите од водовите и на постројката ја намалува можноста за појава на високи напони и бранови со стрми чела, предизвикани од директни удари со големи струи. Амплитудите на струите низ ОП се помали, според тоа, и преостанатите напони на ОП а заштитата на опремата е поефикасна.

ОП треба да се постави што е можно поблиску до најскапиот елемент на постројката а тоа е енергетскиот ТР за тој да биде што подобро заштитен од пренапони од атмосферско потекло. Покрај ТР ОП ќе штити и дел од постројката, односно постои заштитна зона на одводникот.

Заштитната зона на ОП може да се добие според формулата:



$$L_p = \frac{n}{A} \left( \frac{U_{rw}}{1,15} - U_{pl} \right) (L_r + L_a), \quad (11)$$

каде се:

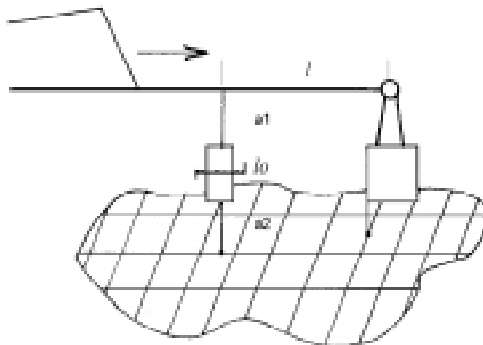
$L_p$  - должина на заштитната зона,  $[m]$ ;  $U_{rw}$  - номинален поднослив атмосферски напон на опремата,  $[kV]$ ;  $U_{pl}$  - заштитно ниво на ОП при атмосферски импулс,  $[kV]$ ;  $A=(4500; 7000)$ , соодветно за вод со еден спроводник односно сноп од два спроводници,  $[kV]$ ;  $n$ - број на водови приклучени кон постројката;  $L_r$  - должина на просечниот распон на водот,  $[m]$ ;  $L_a$  - должина на водот кој што има број на испади еднаков на усвоениот (прифатливиот),  $[m]$ .

Должината на водот кој е изложен на удари на молња за  $n=1$  се изразува со релацијата  $L_a = R_a / r_1$ , каде се:  $R_a$  - прифатлив број на испади на единица време за штитената опрема,  $(1/god)$ ;  $r_1$  - број на испади на водот на единица должина и време како последица на атмосферските празнења  $[1/m * god]$ . За  $n=2$  претходната релација гласи  $L_a = R_a / 2r_1$ . Бројот на откази на разгледуваната опрема во единица време може да се изрази како  $R_a = 1/\tau$   $[1/god]$ . Ако е позната очекуваната непогодна дејност во подрачјето кое се разгледува, може да се процени годишниот број на испади за 100  $[km]$  од водот,  $r_1^*$ , што ја дава вредноста  $r_1 = r_1^* \cdot 10^{-5}$   $[1/m * god]$ .

Пресметките за максималната заштитна должина на ОП може да се извршат например за  $\tau=100$   $[god]$ ,  $\tau=200$   $[god]$ ,  $\tau=400$   $[god]$  и  $\tau=800$   $[god]$ . Потоа, врз основа на усвоеното, може да се пресмета  $R_a$  и при веќе пресметано  $r_1$ , може да се добие  $L_a = R_a / r_1$  и  $L_a = R_a / 2r_1$  - како должина на водот изложен на удари.

Растојанието на затезниот столб од порталот во далноводните полиња е  $L_r$ . Заштитното ниво на ОП  $U_{pl}$  е веќе позната. Од степенот на изолација на вградената опрема се добива и номиналниот поднослив атмосферски пренапони  $U_{wl}$  (например 550, 1425).

Согласно барањето ОП да се постави што е можно поблиску до енергетскиот ТР, тој се поставува (документација) на растојание  $l$  (сл.3).



Сл.3. Шемајски приказ на приклучувањето на ОП.  $L = l + a_1 + a_2 + l_0$ ,

Сега се споредува должината  $L_p$  со добиената должина  $L$  (за енергетскиот ТР) или некоја друга должина  $L_{p,i}$  која одговара на  $i$ -от апарат. За да  $i$ -от апарат влезе во заштитната зона на ОП треба да биде задоволен условот  $L_p \geq L_{p,i}$ .

### 4.3. Координација во однос на комутациони пренапони

При дејствување на комутационите пренапони напоните на краевите од опремата се еднакви со преостанатиот напон на ОП. Од тие причини може да се усвои, репрезентативниот комутационен пренапон да е еднаков на заштитното ниво на ОП во однос на комутационите пренапони, односно е на сила  $U_{rp} = U_{ps}$ , каде  $U_{ps}$  е преостанат напон на ОП при комутациони пренапони.

Од  $U_{cw} = K_c U_{rp}$  и  $U_{rp} = U_{ps}$  следи дека координациониот поднослив напон на опремата е  $U_{cw} = K_{cd} U_{ps}$ .

Величината  $K_{cd}$  претставува детерминистички коефициент на координација кој се пресметува на следен начин:

$$\begin{aligned} - \text{ за } \frac{U_{ps}}{U_{s2}} \leq 0,7, & \quad K_{cd} = 1,1 \\ - \text{ за } 0,7 < \frac{U_{ps}}{U_{s2}} \leq 1,2, & \quad K_{cd} = 1,24 - 0,2 \frac{U_{ps}}{U_{s2}} \\ - \text{ за } 1,2 < \frac{U_{ps}}{U_{s2}}, & \quad K_{cd} = 1,0. \end{aligned} \quad (12)$$

каде  $U_{s2}$  претставува амплитуда на очекуваниот комутационен пренапон према земјата која ќе биде само во 2% од случаите пречекорена.

Произволно се избираат низа коефициенти на пренапони  $k_{p2}$ . За секој коефициент  $k_{p2}$  се пресметува  $U_{s2}$  според изразот  $U_{s2} = k_{p2} \frac{\sqrt{2}U_m}{\sqrt{3}}$ .

При веќе познат  $U_{ps}$  се пресметува односот  $U_{ps}/U_{s2}$ , а потоа од (12) и  $K_{cd}$ . Користејќи го  $U_{cw} = K_{cd}U_{ps}$  се добива координациониот поднослив напон  $U_{cw}$ , а од  $U_{rw} = K_s U_{cw}$  и при  $K_s = 1,15$  и бараниот поднослив напон  $U_{rw}$ . Конечно користејќи се со  $U_w \geq U_{rw}$  се добива и номиналниот поднослив напон на опремата.

Ако е познат номиналниот поднослив комутационен напон на опремата, истиот се споредува со подносливиот напон  $U_w$ . Ако е задоволен уловот  $U_w < U_s$ , тогаш избраниот ОП го задоволува критериумот за координација на изолацијата во однос на комутациони пренапони.

### 4.4. Координација во однос на атмосферски пренапони

При дејствувањето на атмосферски пренапони напоните на опремата се поголеми од преостанатиот напон на ОП и таа разлика се зголемува со зголемување на стрмината на атмосферските пренапони. Од наведеното следи дека состојбата предизвикана од блиските удари на молња е меродавна за проверка на координацијата на изолација во однос на атмосферски пренапони. Координациониот поднослив напон на опремата  $U_{cw}$  во однос на атмосферските пренапони се определува со релацијата (13), која ги зема предвид основните карактеристики на однесувањето на атмосферските пренапони во постројките:

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} \frac{L}{L_r + L_a}, \quad (13)$$

Притоа, се:

$U_{cw}$  - координационен поднослив атмосферски напон, [kV];  $U_{pl}$  - заштитно ниво на ОП при атмосферски импулс, [kV]. Проверката се врши за неколку карактеристични апарати во постројката.

Се разгледуваат состојби со еден или повеќе водови, како и различни времиња  $\tau$  на животниот век на опремата. Користејќи ги веќе познатите вредности за  $U_{pl}$ ,  $A$ ,  $L_r$ ,  $r_1$  и  $L$ , релациите за  $L_a$  и заменувајќи ги во равенката за  $U_{cw}$ , се добива координациониот напон на опремата. Од релацијата  $U_{rw} = K_s U_{cw}$  и  $K_s = 1,15$  се добива бараниот поднослив напон при стандардни услови на испитување -  $U_{rw}$ , а од релацијата  $U_w \geq U_{rw}$  се добива номиналниот поднослив напон.

## 5. ЗАКЛУЧОК

Користејќи ги најновите сознанија за изборот и примената на МО одводници за пренапони РГ од Електростопанството на Македонија изработи соодветна препорака и ја презентира во трудов. Истата може да послужи како прирачник за избор на МО одводници, кои постепено но цврсто влегуваат во нашата пракса.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Р.Миновски и др. Металоксидни одводници на пренапони- избор на параметри за среднонапонски мрежи. I-во советување на МАКО СИГРЕ. Книга II, III Секција МРЕЖИ, 114-123 . Струга 26-28. 09 1996.
- [2]. Избор и примена на МО одводници за пренапони. Привремена препорака Електростопанство на Македонија, 1998 г.
- [3]. Surge Arresters. Part 5: Guide for the selection and application. 37(Secretariat)93, IEC.

ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

---

Заре Трпески, дипл.инж.

Васко Штерјовски, инж.

Електростопанство на Македонија, електродистрибуција "Гостивар"

**ИСКУСТВА ОД РАБОТАТА НА 20 kV МРЕЖА ВО  
ДИСТРИБУЦИЈА ГОСТИВАР СО ЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА**

**СОДРЖИНА**

Во трудот се изнесени некои искуства на дистрибуција Гостивар, поврзани со: експлоатација на 20 kV мрежа при нејзина работа со изолирана неутрална точка; преминот на заземјување на неутралната точка преку мал отпор и двегодишна експлоатација на таа мрежа со заземјено звездиште.

**ABSTRACT**

In this work are presentet some of the ehperiences of the Gostivar elektrical distribution organizasion, related to :

Exploitation of the 20 KV network during its work with isolated neutral point; the transition to the earthing of the neutral point through a law resistance and the two year expoitation of that network with an earthed neutral.

**1. УВОД**

Доверливоста на работата на изолацијата на електричната мрежа зависи пред се од начинот на заземјување на нејзината неутрална точка.

Дистрибутивните мрежи на Република Македонија до пред кус период без исклучок работеле со изолирана неутрална точка бидејќи тој режим на работа нудел и нуди сосема доверлива работа на нивната изолација.

Така, испитниот напон на изолација на 10, 20 и 35 kV мрежи соодветно изнесува: 28, 50 и 70  $kV_{eff}$ , односно коефициентите на пренапони за време на испитувањето на изолацијата соодветно изнесуваат соодветно: 4,04; 3,61 и 3,19. Овие коефициенти на пренапони се пресметувани во однос на максималните вредности на напоните, односно 12, 24 и 38 kV, а напоните во пракса по правило се помали од наведените максимални, според тоа и реалните коефициенти на резерва на изолацијата се поголеми. Максималните пренапони, со релативно мала веројатност за нивна појава, за време на спој со земја преку интермитиран лак не постигнуваат поголеми вредности од  $(3,5 \div 4)U_{f,max}$ . Ако се споредат испитните напони и оние кои во работата може да се очекуваат, се приметува дека изолацијата на среднонапонските мрежи со изолирана неутрална точка, може релативно доверливо да работи во однос на пренапоните при споеви со земја.

Според тоа, работата на мрежата со изолирана неутрална точка, и покрај тоа што нејзината изолација може да биде изложена на релативно јаки електрични напрегања за време на интермитентни споеви со земја, сепак нуди многу поволности и нејзиниот режим на работа може да се оцени како доверлив.

Меѓутоа, горе изнесеното е во ред се додека мрежата не порасне толку што не е можно и понатака да се користат добрите страни на работата со изолирано звездиште.

Така, за време на спојот со земја низ местото на спојот тече во основа капацитивна струја со износ  $I_c = 3\omega C_0 U_f$ , каде е  $C_0$  вкупниот капацитет на мрежата спрема земја. Очигледно дека со пораст на мрежата, расте нејзиниот капацитет, според тоа и струјата на спој со земја. Овој пораст е поизразен кај кабелските мрежи, каде капацитетот по единица должина е околу 30 пати поголем од колку кај воздушните мрежи. Ако, кај воздушните мрежи може да се смета со капацитет од 5.000- 6.000 pF/km, тогаш кај кабелските мрежи (еднофазни кабли) може да се смета со капацитет од 200.000 pF/km. На тој начин, 20 kV кабелска мрежа, со должина од 42,5 km, колку што е долга мрежата на дистрибуција Гостивар, би требало да има капацитет од редот на  $8,5 \cdot 10^{-6} F$ , односно струјата при спој со земја, при максимален погонски напон, би требало да изнесува  $3 \cdot 314 \cdot 24 \cdot 10^3 \cdot 8,5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3} = 111 A$  (при напон од 20 kV- 92,5 A).

Праксата од експлоатација на мрежите при различни начини на заземјување на неутралната точка говори дека при поголеми струи на спој со земја лакот во местото на спој со земја релативно тешко се гаси и постои голема веројатност истиот да премине на соседните фази, односно еднополниот спој со земја да премине во дво- и трифазна куса врска.

Таквиот режим на работа веќе не е доверлив, а големиот број на дво- и трифазни куси врски доведува до голем број на оштетувања на опремата.

Многу типичен пример на таков режим на работа на мрежата, со сите последици што истата ги носи е примерот на електодистрибуција од Гостивар.

Зачестените грешки пропратени со големи материјални штети, како и чести и нехумани прекини со електрична енергија на потрошувачите беа толку големи, што вработените во дистрибуција Гостивар беа принудени да бараат решенија за излез од таа ситуација.

Во овој труд се дава еден пристап за разрешување на искрснатиот проблем со неадекватното третирање на неутралната точка во 20 kV мрежа во дистрибуцијата во Гостивар. Изнесени се некои искуства од двегодишното работење на мрежата со звездиште заземјено преку мал отпор.

## **2. ПРОГРАМА ЗА РЕАЛИЗАЦИЈА НА ПРОЕКТОТ ЗА ЗАЗЕМЈУВАЊЕ НА НЕУТРАЛНАТА ТОЧКА НА 20 kV МРЕЖА**

Реализацијата на проектот за заземјување на неутралната точка во ТС 110/20/10 kV "Гостивар", за 20 kV мрежа на територијата за градското подрачје се одвиваше според следниот редослед:

- анализа на состојбата во 20 kV мрежа,
- изработка на техничка документација,
- избор на опрема,
- прилагодување на заземјувањето на дистрибутивните и останатите трафостаници за безопасна работа во мрежа со заземјена неутрална точка.

## **2.1. АНАЛИЗА НА СОСТОЈБАТА ВО 20 kV МРЕЖА**

Во 1978 година со пуштање во работа на ТС 110/20/10 kV "Гостивар", ставен е под напон и првиот 20 kV кабел од наведената ТС спрема ТС 20/0.4 kV "Стаклара". Во наредниот период се изградени повеќе трафостаници со напон 20/0,4 kV, поврзани со 20 kV мрежа со кабли.

Зголемувањето на должината на галвански поврзаната 20 kV мрежа услови и зголемување на вредноста на капацитивната струја на спој со земја. Од приближните пресметки прикажани во уводот се гледа дека очекуваната струја при спој со земја во 20 kV мрежа на елекродистрибуција Гостивар изнесува околу 90 А, што претставува скоро триструка вредност од дозволената струја, односно од 30 А. Искуството од експлоатацијата на 20 kV мрежи вели дека тие може сосема доверливо да работат со изплирана неутрална точка при струја на спој со земја не поголема од 30 А.

На тоа не наведува и енормно големиот број на хавариски состојби во дистрибуцијата Гостивар за време на споевите со земја, кои беа проследени со оштетени блокови во трафостаниците, наполно изгорени трафостаници, пробиени кабли, оштетени голем број кабелски завршници и спојници и т.н.

Прекините во снабдувањето со електрична енергија беа се почести, материјалните штети стануваа се поголеми така што експлоатацијата на 20 kV објекти стануваше се понесигурна, пропратена со големи трошоци во материјали и ангажирање на работна сила.

Анализирајќи ги состојбите во 20 kV мрежа и настанатите проблеми во експлоатација заклучено е дека се исцрпени сите позитивни страни што ги нудеше користењето на изолираната неутрална точка и одлучено е да се примени техничко решение за разрешување на настанатите проблеми, односно да се заземји неутралната точка на 20 kV мрежа преку мал отпор.

## **2.2. ИЗГОТВУВАЊЕ НА ТЕХНИЧКА ДОКУМЕНТАЦИЈА**

Вра база на дадените показатели и проектната задача, од страна на Институтот за енергетика "ЕМО", во 1987 година, изработен е проект за заземјување на неутралната точка на 20 kV страна во ТС 110/20/10 kV, "Гостивар".

Согласно изработениот проект беше набавена и монтирана предвидената опрема во ТС 110/20/10 kV.

## **2.3. ИЗБОР НА ОПРЕМА**

### **2.3.1. Основни карактеристики**

При изборот на опремата се користени пред се насобраните искуства од елекродистрибутивните организации во поранешна Југославија, според кои е одлучено неутралната точка да се заземји преку мал отпор кој ја ограничува струјата на спој со земја на 300 А.

За заземјување на неутралната точка е избран отпорник тип Ои- 12 kV- 300 А, произведен во "Раде Кончар", Загреб, со следните карактеристики:

$$R = 40 \Omega, I = 300 \text{ A при } T = 5 \text{ s, } 20 \text{ A при } T = 10 \text{ min и } 5 \text{ A- трајно}$$

$$(I_{doz} = U_{m,f} / R \rightarrow R = U_{m,f} / I_{doz} \rightarrow R = 12 / 0,3 = 40 \Omega).$$

Отпорникот е монтиран во куќиште со заштита IP23 за монтажа на отворен простор.

### 2.3.2 Заштита на отпорникот

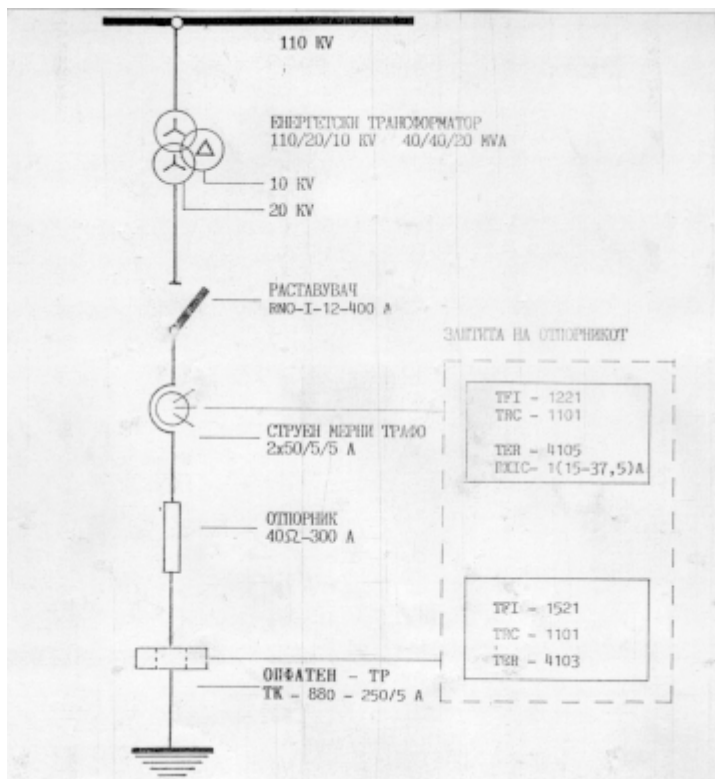
Отпорникот се штити со следните заштити:

- основна прекуструјна заштита,
- краткострујна заштита (премостување на секции),
- резервна земјоспојна заштита на 20 kV собирници,
- резервна земјоспојна заштита на изводи.

Приклучокот на отпорникот на неутралната точка на енергетскиот трансформатор е извршен според еднополната шема на сл.1.

Заштитата од спој со земја на собирниците на 20 kV постројка се врши со помош на вграденото реле ТИ- 1305 (1- 2,5 А) со време на задршка 0,5-5 сек, поврзано со звездиштето од струјните трансформатори во 20 kV трафо ќелии.

Заштитата од настанат спој со земја на 20 kV изводи е изведено со хомополарна заштита со реле ТИ- 1305 (1,2- 5 А) чија струјна гранка е поврзана на опфатен мерен трансформатор ТК- 880.



Сл. 1

## **2.4. ПРИЛАГОДУВАЊЕ НА ТС 20/0,4 kV ЗА РАБОТА ВО УСЛОВИ СО ЗАЗЕМЈЕНА НЕУТРАЛНА ТОЧКА**

Дефинирањето и усогласувањето на критериумите за работа на 20 kV мрежа претставуваше посебен проблем од следните причини:

- за порано изградените трафостаници не се располагаше со точни показатели за изведените заземјувања (должини, локации, материјал и др.),
- постоењето на подземните инсталации (водовод, ПТТ и др.) ја отежнуваа работата за ефикасно одвојување на работното и заштитното заземјување на трафостаниците,
- постоењето на поголемиот број на кабелски спојници и начинот на нивната изработка, посебно поврзување на бакарните плаштови,
- во поедини трафостаници отпорот на работното и заштитното заземјување беше енормно висок.

Најпрвин беше потребно да се дефинира процедурата за одредување на параметри од кои може да се процени дали се исполнети критериумите за безопасна работа на мрежата во услови на заземјена неутрална точка.

На база на оваа процедура е одредено дека е потребно да се изработат досијеа за сите дистрибутивни трафостаници кои ќе работаат во мрежата со заземјена неутрална точка, во кои треба да се опфати следното:

- локација на трафостаницата,
- износ на отпорот на заштитното заземјување и неговата физичка состојба,
- износ на отпорот на работното заземјување и неговата физичка состојба,
- состојба на врските на 20 kV мрежа во поширокот градско подрачје.

Од извршените контроли за физичката состојба на заземјувањата и вредноста на отпорите на истите се дојде на сознание дека е неопходна модификација на заземјувањата на скоро сите дистрибутивни трафостаници со цел да се доведат во технички исправна состојба.

Извршени се следни интервенции за да се доведат заземјувачките системи во исправна состојба:

1. Постоењето на поголем број подземни инсталации со градското подрачје беше услов да се донесе решение за спојување на работното и заштитното заземјување кај дистрибутивните трафостаници.
2. На тие трафостаници е извршено ефикасно одвојување и подобрување на работното и заштитното заземјување.
3. Во сите трафостаници се поставени собирни шини на која се поврзани сите заземјувања (работно, заштитно, бакарните јажиња поставени паралелно со 20 kV кабли, бакарните плаштови на ВН кабли и заземјувачите положени со НН кабли). Оваа превземена мерка се покажа како доста ефикасна и корисна.
4. Околу сите трафостаници се поставени по два прстени и тоа првиот оддалечен 1 м и на длабочина 0,4 м, а вториот прстен на оддалеченост од два метри и длабочина 0,8- 1 м.

По извршување на наведените интервенции на заземјувачките системи кај дистрибутивните трафостаници, врз база на дадените податоци и извршените мерења од страна на Институтот за електрични мерења при ЕТФ, Скопје, изработена е студија за работа на среднонапонската мрежа во дистрибуција Гостивар во услови на заземјена неутрална точка.

Добиените резултати од Студијата покажаа дека условите за безопасност од напон на чекор и допир во 20 kV мрежа со заземјена неутрална точка, се исполнети и на 5. 07 1996 година извршено е заземјување на неутралната точка



на 20 kV страна во ТС 110/20/10 kV "Гостивар", на ТР бр. II. Од тој момент 20 kV мрежа во градот и поширокото градско подрачје работи со заземјена неутрална точка.

Да наведеме уште некои показатели за 20 kV мрежа која работи во услови со заземјена неутрална точка:

- кабелска мрежа  $L = 42,5$  km,
- воздушна мрежа  $L = 3,2$  km,
- 20/0,4 kV трафостаници - 71
- изводи - 8.



Сл. 2 Опожарена дистрибутивна трафостаница

### 3. ИСКУСТВА ОД ЕСПЛОАТАЦИЈАТА

За да се оценат резултатите од работата на 20 kV мрежа со заземјена неутрална точка ќе биде неопходен подолг временски период. Сепак, и овој двогодишен период може да ни даде корисни показатели за ефикасноста на изменетиот режим на работата на неутралната точка на мрежата.

Како споредба, во табелите I и II се наведени:

- статистичките податоци за некои штети на опремата во периодот 1994-1998 година,
- испадите на поедините изводи во истиот период, а кои сега работат во мрежата со заземјена неутрална точка.

**Табела 1.** Оштетена 20 kV опрема

Година	Кабли	Останато
1994	24	18
1995	18	13
1996	29	14
1997	2	1
I - V 1998		

На наредните слики се илустрирани некои типични примери од хаварисаната опрема за време на споевите со земја во 20 kV мрежа која работеше со незаземјено звездиче.

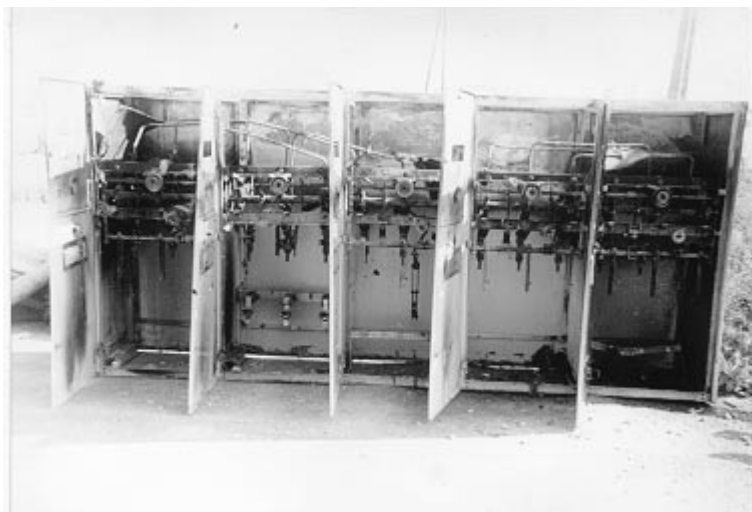
Да наброиме и неколку поголеми штети на електроенергетските објекти пред заземјувањето на неутралната точка.

1. Наполно оштетени 20 kV блокови во дистрибутивни трафостаници- 23
2. Наполно опожарени три дистрибутивни трафостаници
3. На кабелската 20 kV врска ТС 110/20/10 kV "Гостивар"- "Стаклара" во должина од 3 km по настанатите 95 оштетувања кабелот е напуштен и изведена е нова врска.
4. 20 kV врска спрема ТС 20/0,4 kV "Млекара" поради голем број на оштетувања е исто така напуштена и изведена е нова врска.
5. Оштетени се и заменети се голем број на кабелски завршници.

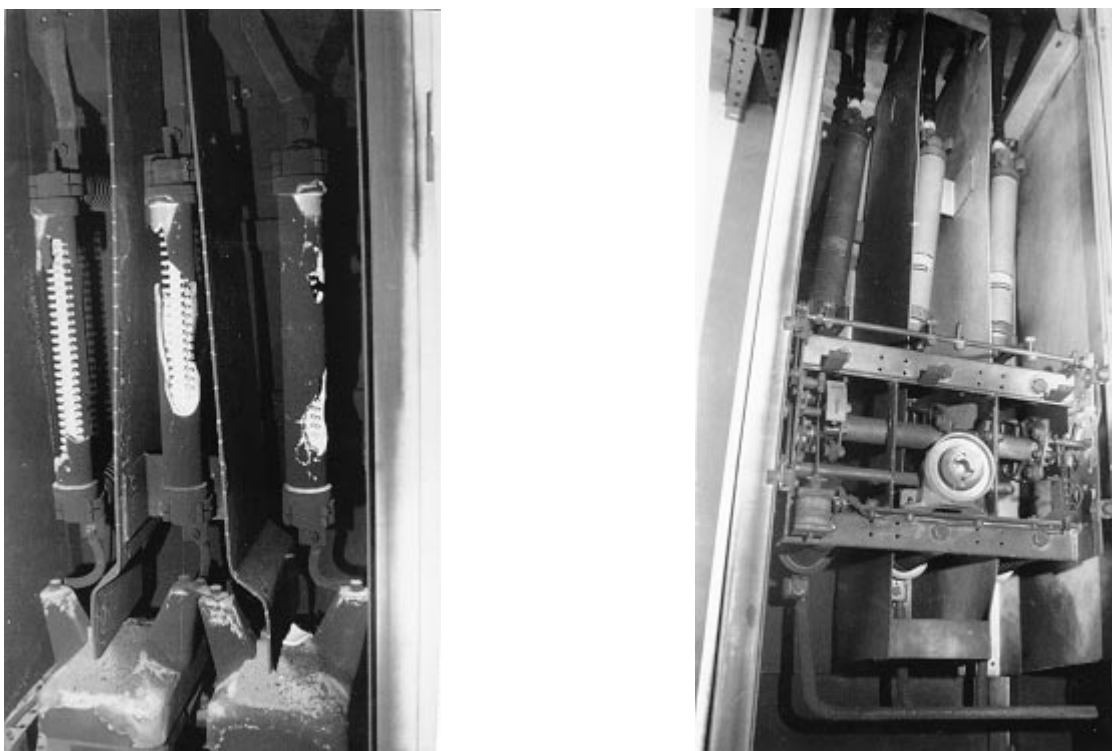
Во табелата I се гледа дека за периодот после 5. 07 1996 година, односно по заземјувањето на неутралната точка се регистрирани само 2 (две) грешки со последователни оштетувања на 20 kV кабелски завршници.

**Табела 2,** Преглед на исклучувања на 20 Кв. Изводи кои работаат во услови со заземљена неутрална точка до 05,05,1998 год.

20 kV "ИЗВОД"	1994		1995		1996		1997		1998	
	I>>	I <sub>0</sub> >>	I>>	I <sub>0</sub> >>	I>>	I <sub>0</sub> >>	I>>	I <sub>0</sub> >>	I>>	I <sub>0</sub> >>
20 КВ "Тех. Училиште"	9	3	-	4	3	2	-	-	-	-
20 КВ "СТАКЛАРА"	2	1	1	3	1	10	-	-	-	-
20 КВ "Г.Пазар I"	3	14	2	13	5	4	1	1	-	-
20 КВ "Г.Пазар II"	4	5	2	5	2	4	-	-	-	-
20 КВ "МЛИН"	7	7	2	1	6	3	-	-	-	-
20 КВ "ЛАДИЛНИК"	8	10	7	11	8	5	-	2	-	-
20 КВ "М.СТАНИЦА"	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
20 КВ "КУЛА"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ВКУПНО :	33	40	14	37	26	29	1	3	-	-



Сл. 3 Оштетен 20 KV блок



Сл. 4 Оштетена 20KV опрема

#### 4. ЗАКЛУЧОК

Проблемите на третирањето на неутралната точка се присутни во скоро сите дистрибутивни организации на ЈП "Електростопанство на Македонија". Во

тудов е направен осврт врз организираниот приод за разрешување на овој проблем во дистрибуција Гостивар.

Покрај тоа, изнесени се некои искуства од двегодишното работење на 20 кВ мрежа во дистрибуција Гостивар, која работи со заземјена неутрална точка.

*Прашања за дискусија:* Има ли некои искуства од експлоатацијата на дистрибутивните мрежи во ЈП "Електростопанство на Македонија" со заземјени неутрални точки. Какви се тие?

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Ј. Нахман. Уземљење неутралне тачке дистрибутивних мрежа, Вд 1981,....
- [2]. Третман на неутралната точка во среднонапонската мрежа во Република Македонија. Студија, ЕТФ, Скопје, 197...
- [3]. Н. Буцилов. Анализа услова за уземљење нетралне тачке у 10 кВ мрежи градског подручја Трстеник
- [4]. И. Длгачев. Начин на работа на звездиниот центра. Благоевград
- [5]. Д. Рајчиќ. Електрични мрежи, -ЕТФ – Скопје, 1994 год.
- [6]. Р. Ачковски. Високонапонски мрежи и системи -ЕТФ – Скопје, 1995 год.
- [7]. Р. Миновски. Техника на висок напон II, ЕТФ Скопје.

# МАКЕДОНСКИ КОМИТЕТ ЗА ГОЛЕМИ ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ-СИГРЕ СКОПЈЕ,

## ВТОРО СОВЕТУВАЊЕ НА МАКО СИГРЕ

---

Ристо Миновски  
Дионис Манов  
Воислав Јанков  
Електротехнички факултет, Скопје  
Томе Ангелкоски, РЕК "Битола", Битола

### ДАЛИ ИЗОЛАЦИЈАТА НА ГЕНЕРАТОРИТЕ ДА СЕ ИСПИТУВА СО ВИСОК НАПОН

#### СОДРЖИНА

Во трудот е направен осврт врз потребата од испитување на изолацијата на генераторите со висок напон со индустриска фреквенција и еднонасочен напон. Разгледани се позитивните страни на испитувањата со секој од овои напони. Сумирани се искуствата за висината и фреквенцијата на примената на високите напони како профилактички испитувања.

#### ABSTRACT

The scope of the paper is to consider the need of AC and DC HV tests. The experience related to the voltage altitude and frequency were summarized.

**Клучни зборови:** Генератор, изолација, испитен напон

#### 1. УВОД

Испитувањето со напон со индустриска фреквенција е основен вид на испитувања на изолацијата на генераторите а негова основна предност е што има ист облик со работниот напон. Од тие причини, распределбата на напоните во изолацијата и карактерот на пробојот при испитувањето е ист, како и при работата на генераторот. Покрај тоа, само при испитување со напон со индустриска фреквенција може да биде проверена доверливоста на изолацијата од аспект на јонизациониот пробој.

Изолацијата за време на работа ќе работи доволно доверливо ако нејзиниот пробоен напон биде поголем од напонот, кој може да дејствува на нејзините краеве, и единствен доверлив начин да се провери наведениот услов е да се приложи на изолацијата напон кој не е понизок од тој, кој може да се јави за време на експлоатација на генераторот. Останатите испитни методи се дополнителни.

Би било најдобро, ако пробојниот напон на изолацијата за време на работа на генераторот остане еднаков или повисок од нивото на можните

електрични дејствија не само за време на испитувањата, туку и во тек на целиот период на работа на генераторот до наредните испитувања.

Испитувањето на изолацијата со еднонасочен напон ги има следните предности во споредба со наизменичниот напон со индустриска фреквенција:

- поефикасно се испитува изолацијата на челните делови како последица на порамномерната распределба на напонот по површината на изолацијата во овој дел, во однос на оној предизвикан од капацитивната струја;

- постои можност да се мери струјата на одведување.

Текот на струјата на одведување при високи еднонасочни напони може да даде корисни информации за степенот на навлажување на изолацијата како и нејзиното загадување.

Во последно време, во нашата стручна јавност, се изразува извесна резерва во ефикасноста на употребата на високите напони како мерки за профилатички испитувања на генераторите. Пред се, се преферираат "недеструктивните" методи. Овој труд има за цел да ги отклони тие заблуди, давајќи осврт врз неопходноста и корисноста од таквите испитувања.

## 2. ПОСТОЈНИ ПРЕПОРАКИ

Врз основа на [1], карактеристиките на изолациониот систем (IS) на статорот на генераторите се определуваат со примена на висок наизменичен односно еднонасочен напон а врз основа на следните мерења и испитувања:

- мерење на струјата на одведување (последната од петте степеници на испитниот напон изнесува  $U_{isp} = 1,5U_n$ , еднонасочен)

- мерење на факторот на диелектричните загуби (последната од петте степеници на испитниот напон изнесува  $U_{isp} = U_n, 50 \text{ Hz}$ ),

- мерење на интензитетот на парцијалните празнења (испитувањето се врши со напон  $U_{isp} \geq U_{n,f}$ ),

- испитување со висок наизменичен напон 50 Hz,  $U_{isp} = 1,5U_n$ , или

- испитување со висок еднонасочен напон, при  $U_{isp} = 2,2U_n$ .

Единствено, отпорот на изолацијата се мери со релативно низок напон (1000 V), а се применува за откривање на груби грешки.

Обемот и содржината на мерењата се зависни од периодичноста на прегледите на генераторите и за вообичаен број на покренувања (UP<200 (1/год)) тие се дадени во табела I. Ако IS се прати во тек на погонот од почетокот на пуштање во работа, за секој генератор после околу 12 години работа или околу 60.000 часа треба да се определи посебен програм на пратење (PP).

*Струја на одведување.* Врз основа на мерењата се утврдуваат параметрите ( $k_a, i.p.$ ). Ако овие параметри и кај сите три фази не задоволуваат ( $i.p.>1,3; k_a < 2$ ) или апсолутниот износ на струјата доволно расте ( $i>1 \text{ mA}$ ), промени кои по правило укажуваат на појава на висока навлажнетост, неповолна површинска состојба на IS или слабо место во IS, приклучувањето на генераторот под напон или пристапување на високонапонско испитување не е препорачливо. Ако е во прашање нов генератор треба да се превземе сушење-вентилирање, односно да се продолжи со него.

Во случај IS само на една фаза (или гранка) да има неповолни параметри, треба да се прошират испитувањата, односно да се консултира производителот и

да се пристапи кон *високонапонско испитување*. Ово е во сила и за нов генератор при пуштање во погон и покасно во тек на пратењето.

*Фактор на диелектрични загуби-tgδ*. Вредноста на *tgδ* за комплетната фаза на намотката не укажува на локални слаби места, туку дава слика за нејзината општа состојба.

Чест е случај кога нивото и прирастот на *tgδ* повеќеструко порасна во однос на референтните вредности, а диелектричната цврстина на изолацијата и при триструко напонско оптеретување (*kV/mm*) задоволува.

Ако во тек на пратењето се утврдат неочекувани промени на параметрите *tgδ* и  $\Delta tg\delta$ , се препорачуваат дополнителни мерења (*k<sub>a</sub>*, *p.p.*, и др.) и *напонско испитување со 1,5U<sub>n</sub>, 50 Hz*, во траење од 1 min.

*Испитувања со висок напон*. Се препорачува да се пристапи кон високонапонски испитувања како е назначено во табелата I, ако со посебен програм не е поинаку предвидено. Испитувањето со висок наизменичен напон, 50 Hz *йонекогаш се воведува како ситална мерка* за потврда на диелектричната цврстина на комплетниот IS на фазата (гранка). Се препорачува ово испитување да се врши секоја трета година, односно како е назначено во табелата I, ако не е поинаку определено со PP.

Во табелата I, во колоната пуштање во погон, е назначено испитување со напон во износ од  $0,8(2U_n + 1000)$  пред вклучување на генераторот во ЕЕС. Кон овие испитувања се пристапува во следните случаи:

- кога намотката е поставена и испитана во фабриката и комплетниот статор се транспортира во електраната,
- кога намотката е вложена и испитана на монтажниот простор во електраната, а потоа статорот се пренесува и генераторот се монтира.

Табела I

	Прво пуштање во работа	(2-5).	15.	30.	45.	60.	> 60.
		10 <sup>3</sup> (h)	10 <sup>3</sup> (h)	10 <sup>3</sup> (h)	10 <sup>3</sup> (h)	10 <sup>3</sup> (h)	10 <sup>3</sup> (h)
		DR/PR	PR	PR	PR	PR	PP
воздушно ладење, H <sub>2</sub>	PR	1 1*	1	1	1	1	
	1	2 2*	2	2	2	2	
ладење, H <sub>2</sub> O	SV	3 3*	3	3	3	3	
	0,8(2U <sub>n</sub> + 1000)	4 4*			5 или 6	4	
	PI					5 или 6	

PR- потполн преглед, ремонт, DR- делумен преглед, ремонт, SV- сушење, вентилирање на намотката, PP- посебен програм, PI- програм за испитување, пуштање во погон (специфичен за секоја машина)

\*)- намотка ладена со вода, се испитува без присуство на вода,

1- R<sub>iz</sub>; 2- k<sub>a</sub>; 3- tgδ; 4- p.p.; 5- VN, 50 Hz; 6- VN, еднонасочен;

Секои 5000 работни часови се врши DR (делумен ремонт), со програма на испитување- 1.

Краткиот осврт врз примената на високиот напон за утврдувањето на состојбата на IS на статорите на генераторите говори:

- во сите методи кои се користат за испитување на IS на статорот се применува висок напон. Дали е тој наизменичен или еднонасочен, неговиот износ е поголем од U<sub>n</sub> (исклучок се мерењата на интензитетот на p.p.);

- методите:  $i_{od} = f(U)$  (до 1,5U<sub>n</sub>, еднонасочен) и  $tg\delta = f(U)$  (до U<sub>n</sub>, 50Hz) не се одлучувачки. Ако резултатите од примената на тие методи се негативни

тогаш во секој случај се преминува на испитување со висок напон, како одлучувачко испитување.

### 3. ИСПИТУВАЊЕ СО ВИСОК НАИЗМЕНИЧЕН НАПОН

#### 3.1. Како да се нормираат испитните напони

На изводите од изолацијата на генераторот, чии намотки се споени во ѕвезда, трајно дејствува фазниот работен напон  $U_f$ , а при спој со земја на една од фазите на мрежата напонот на изводите на двете други фази достигнува вредност  $U_n$ . Од тука следи дека испитниот напон со индустриска фреквенција треба да биде во секој случај не помал од  $U_n$ .

Амплитудите на внатрешните пренапони во колото на самиот генератор може да достигнат вредности  $1,85\sqrt{2}U_n$ . За да се провери дали изолацијата ќе ги издржи тие пренапони треба истата да се тестира со напон со индустриска фреквенција и иста таква темена вредност.

За жал, не постојат податоци за веројатноста со која се појавуваат пренапони со ова или друга величина. Исто така нема податоци за распределба на пробојните напони на стаповите на генераторите, кои се наоѓаат во експлоатација. Со овие податоци би можела да се определи врската меѓу нивото на испитните напони, веројатноста за оштетување на генераторите како последица на пренапоните, а и веројатноста за пробој на намотката за време на испитувањата ([2]).

Како основни прашања се наметнуваат следните:

1. Дали испитувањата со напон, кој е еднаков по вредност на најголемиот можен пренапон а кој се јавува многу ретко, е економски оправдано?

2. Ако пак се намалат испитните напони до вредности, многу помали од максималниот пренапон, дали не може да се очекуваат почести пробои на изолацијата на генераторите во погон?

За да се определи потребниот испитен напон, неопходен за доверлива работа на генераторот, пред се треба да се знае брзината со која се намалува пробојниот напон на изолацијата во периодот меѓу две испитувања или, поточно, веројатноста за да се појават одредени слабости на изолацијата. Тие величини се непознати, и тешко се одредуваат. Затоа прашањето за величините на испитните напони до денес се решава само врз основа на опитот на експлоатација.

Ако е поголем испитниот напон, тогаш во поран стадиум на развој може да се откријат грешките на изолацијата и, според тоа, толку подоверлива е изолацијата во работата при еднакви други услови.

Вредностите на испитните напони треба, очигледно, да се поврзуваат со периодот на испитување: колку поретко се испитува изолацијата, толку поголеми треба да бидат испитните напони. Од друга страна, со пораст на испитниот напон се зголемува бројот на пробои, со што се зголемуваат трошоците за планските ремонти, а тоа ги ограничува можностите за зголемување на испитните напони. Очигледно дека зголемениот испитен напон економски е оправдан само дотогаш додека цените на ремонтите, предизвикани од пробоите при испитувањата, не се поголеми од оние предизвикани од хавариите. Многу тешко е да се утврди врската меѓу испитните напони, цените



на ремонтите и можните трошоци од хавариите кои би се избегнале по пат на профилатички испитувања.

### 3.2. Вредности за испитните напони според руските норми

Во нашиот ЕЕС најголемите генераторски единици се од руско потекло, а нивните норми за време на профилатичките испитувања преферираат примена на испитни напони со индустриска фреквенција еднакви 1,5 или  $1,7U_n$  ([3]).

1. Испитен напон  $1,5U_n$  се применува за сите генератори, кои се испитуваат секоја година и за турбогенераторите со моќност еднаква или поголема од 150 MW со непосредно ладење на намотката на статорот (независно од периодичноста на испитувањата).

2. Се дозволува примена на испитниот напон од  $1,5U_n$  за одделни генератори, кои работат над 10 години.

3. Останатите генератори се испитуваат со напон  $1,7U_n$ .

*Образложение:* Намалувањето на испитниот напон до  $1,5U_n$  при зголемена периодичност на испитувањата соодветствува на порано изложениот принцип: колку поретко се испитува изолацијата, толку повисоки треба да бидат испитните напони;

- За генератори, кои се наоѓаат во работа повеќе од 10 години, кои се испитуваат поретко од еднаш во годината, намалувањето на испитниот напон до  $1,5U_n$  се дозволува како исклучок. Се имаат во предвид случаите, кога е изолацијата јако остарена и постојат сериозни сомневања дека приложениот напон од  $1,7U_n$  толку ќе го зголемат бројот на пробоите при испитувањата, што ќе биде неопходно да се изведи непланирано целосно или делумно премотување;

- За крупни турбогенератори со непосредно ладење на статорот примената на напонот од  $1,5U_n$  може да биде оправдано од други аспекти: прво, тие со редок исклучок работат при значителен надпритисок на водородот (0,3-0,5 MPa); второ, тие имаат номинален напон не помалку од 15,75 kV. Од првото следи, дека кај такви генератори не треба да се очекува суштинско топлоотно или електрично стареење на изолацијата и бројот на грешките кои споро се развиваат а кои се откриваат со испитувањето, кај нив е помало, од колку кај генераторите со воздушно ладење. Од второто следи, дека јачините на електричното поле во низа места на изолациониот систем кај овие генератори, според тоа и по патот на можните прескоци е поголем, од колку кај другите, со што се зголемува можноста за појава на лизгачки празнења особено при загадена површина на изолацијата.

4. Од кога ќе се заврши капиталниот ремонт и се монтира генераторот се спроведува повторно испитување на изолацијата со напон со индустриска фреквенција  $U_n$ . Со тоа испитување се проверува дали постои некое слабо место, кое можело да настане за време на ремонтните работи.

5. Покрај обичните профилатички испитувања, спроведувани за време на капиталните ремонти на генераторот, се воведени и меѓуремонтни испитувања, кои се спроведуваат, ако интервалот на време меѓу капиталните ремонти е над 4 години. Тие испитувања, поврзани со текуштите ремонти, при кои не е предвидено време за можни замени на стаповите, имаат за цел да ги откријат само грубите грешки на изолацијата, ако такви се јавиле. При тие испитувања се дозволува да се намали испитниот напон со индустриска фреквенција но не помалку од колку за  $0,2U_n$  во споредба со применетиот при капитален ремонт.

6. Да ги цитираме уште препораките на производителот на генераторите во РЕК "Битола" ([4], [5], а кои се однесуваат на висината и честината на испитувањата со висок напон со индустриска фреквенција.

" Испитен напон со износ од  $1,5U_n$  се применува за турбогенератори со моќност поголема од 150 MW со непосредно ладење на намотките од статорот (класичен годишен ремонт)". Коментар: исти услови како оние под точка 1.

"Испитување со износ од  $1,7U_n$  се применува за турбогенераторите со моќност поголема од 150 MW и испитувања поретки од еднаш во годината но не подолго од 3 години". Коментар: Овие услови, генерално се во согласност со наведеното во т.3.

7. После ремонт на машината со делумно или цела замена на намотката треба да се спроведе 5- минутно испитување со номинален напон и детален преглед на поведението на изолацијата. После обичен ремонт се спроведува само едноминутно испитување со номинален напон при наполно затворена машина.

*Образложение:* Кога се подига испитниот напон многу често се приметува коронско празнење во вид на сино светење на излезот од каналот и меѓу стаповите на разни фази во челните делови од намотката. Тоа светење, ако почнува при напони не помали од фазниот и не ја менува бојата со зголемување на испитниот напон, не претставува опасност. Меѓутоа има случаи, кога со пораст на напонот во челниот дел се јавуваат светлечки јарко-бели точки, кои понатака ја менуваат својата боја во жолта или црвена. Такви појави сведочат за појава на микролакови од течење на капацитивната струја, кои може да ја оштетат изолацијата.

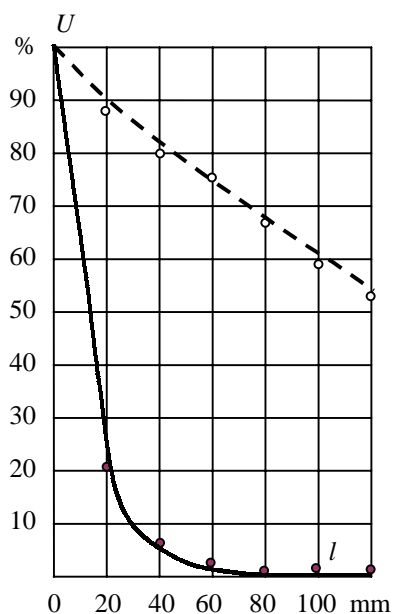
Ако појавата на микролаковите почнува при напон, близок до номиналниот, тогаш, следствено, може да се јават и при работа на генераторот. Последното е многу опасно, бидејќи работата на вентилацијата во генераторот која работи со воздушно ладење му погодува на развивање на тлеењето.

## **4. ИСПИТУВАЊЕ СО ЕДНОНАСОЧЕН НАПОН**

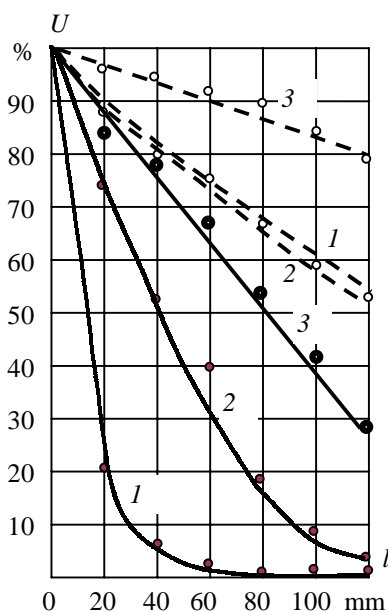
### **4.1. Дали да се применува висок еднонасочен напон**

За распределба на напоните вдолж површината на челниот дел може да се користи формулата за соодветната распределба вдолж бескрајно долг вод во облик  $U = U_0 \exp(-\alpha l)$ , каде е  $U$ - напон во точката од водот со координата  $l$ ;  $U_0$ - напон на почеток од водот;  $\alpha = \sqrt{r/R}$ - за еднонасочен напон;  $\alpha = \sqrt{r/(2X_C)}$ - за наизменичен напон;  $r$ - површинскиот отпор на изолацијата на единица должина од стапот;  $R$ - отпор на изолацијата на единица должина од стапот;  $X_C$ - капацитивен отпор на изолацијата на единица должина од стапот при дадена фреквенција.

На сл.1 прикажана е распределбата на напонот вдолж еден стап. Како што се гледа веќе на растојание 30 mm од излезот на каналот, во случај на напон со индустриска фреквенција, вредноста на напонот опаѓа до 12% од испитниот напон; таков напон може да не биде доволен за да се пробие слабо место во изолацијата. При еднонасочен напон, напонот во таа точка изнесува 85% од испитниот напон.



Сл.1. Распределба на напонот при еднонасочен напон (1) и напон при  $f=50 \text{ Hz}$  (2) при  $R=400 \text{ } \Omega$  и  $X_C \approx r$ , вдоль еден генераторски стап



Сл.2. Распределба на напонот вдоль секцијата. \_\_\_\_\_ - наизменичен напон, - - - - - еднонасочен напон, 1- површина чиста, 2- загадена површина со јагленова прашина, 3- површина загадена со јагленова и прашина од четкици.

При загадување на површината на изолацијата (сл.2) распределбата на напонот постанува порамномерна, меѓутоа разликите меѓу распределбата при наизменичен и еднонасочен напон остануваат и понатака значителни.

Порамномерната распределба на напонот овозможува да се откријат грешки на изолацијата, кои се подалеку од местото на излезот на стапот од каналот. Потврда на тоа се статистичките податоци дадени во табелата II, од кои се гледа дека поголем број на пробои во челните врски на намотката настануваат при испитување со еднонасочен напон.

Табела II

Место на пробој	Еднонасочен напон	Наизменичен напон
Каналски дел	27	73
Челни дел	67	33

Некои видови грешки на изолацијата во почетокот, не го намалуваат пробојниот напон на изолацијата при вредности помали од испитниот напон, меѓутоа го намалуваат отпорот во местото на грешката. Овие грешки може да бидат откриени со мерење на струи на одведување при доволно висок напон.

Податоците од табела II говорат дека иако има бројни предности, испитувањето со еднонасочен не може да го замени испитувањето со наизменичен напон. При испитување со еднонасочен напон изолацијата на каналскиот дел е подложена на послабо дејство од колку при испитување со напон со индустриска фреквенција со иста амплитуда; значително послабото дејство на парцијалните празнења на пробојот не и дава јонизациона форма;

распределбата на напонот по слојот на изолацијата не е иста како онаа при наизменичен напон и помал напон ќе биде одложен на слоевите со помал отпор.

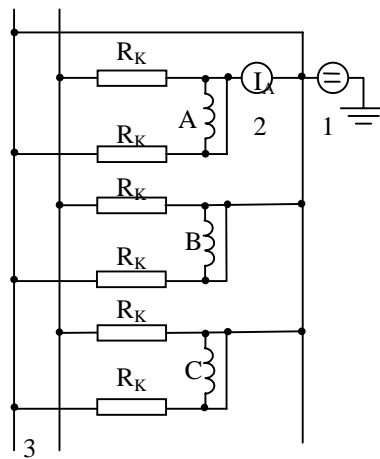
За еднонасочниот испитен напон ([3]) се предлага вредност еднаква на 1,6 од испитниот напон со индустриска фреквенција кој не треба да биде поголем од еднонасочниот напон, со кој се испитува изолацијата при влегување на генераторот во експлоатација. Бидејќи во последниот случај испитниот напон со индустриска фреквенција изнесува 80% од фабричкиот испитен  $U_{fabr}$ , тогаш соодветниот еднонасочен испитен напон изнесува  $1,6 \cdot 0,8U_{fabr} = 1,28U_{fabr}$ .

Кај генераторите со водено ладење испитувањето на изолацијата со еднонасочен напон е можно само во случаи, кога изолацијата на колекторите е пресметана за испитен напон а постои можност да се искористат тие колектори како екранирачки електроди или, ако конструкцијата на колекторите дозволува нивно делење по фази за да се испитат заедно со соодветните фази на намотката.

#### 4.2. Некои специфичности при испитувањето и оценка на резултатите

Кога се испитува генератор со водено ладење се применува шемата според сл.3. Според оваа шема се исклучува можноста за прескок на цевките и нивното влијание врз струите на одведување; двата краја на системот цевки се наоѓаат на ист потенцијал, меѓутоа не е можно да се испита меѓуфазната изолација и резултатите од мерењата не може да бидат искористени за да се определат евентуалните грешки во меѓуфазната изолација.

Кога конструкцијата на генераторот дозволува да се отспојат фазите на намотката од заедничките колектори за вода, испитувањето на намотката со еднонасочен напон се врши според тие исти шеми, како и за генераторите со воздушно ладење.

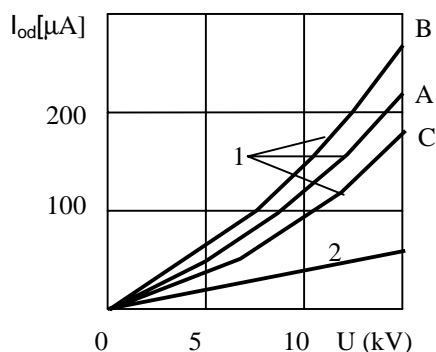


Сл.3. Шема на испитување со еднонасочен напон на изолацијата на генераторот со водено ладење на намотките.

1- исправувач, 2- микроамперметри, 3- колектори, А,В,С- фази на намотките,  $R_K$ - отпор на цевките.

*Некои забелешки.* Наглиот пораст на струите на одведување на една од фазите во споредба со вредностите, добиени за време на претходните мерења сведочи за постоење на некоја грешка.

Добар дел од кривата "струја на одведување-напон" ( $I_{od} = f(U)$ ) е праволиниска или малку искривена (сл.4). Ако струјата на одведување почнува да расте јако непропорционално во однос на приложениот напон, тоа обично сведочи за грешки или навлажнување на изолацијата. Во низа случаи таков непропорционален пораст на струите на одведување се согледува само на последните точки од кривата, односно при напони  $(2 - 2,5)U_n$ .



Сл.4. Зависноста  $I_{od} = f(U)$  за еден синхрон компензатор 5 MVA, 6,3 kV. 1- по монтажа на компензаторот,  $20^0 C$ ; 2- по една година на работа,  $52^0 C$  ([3]).

Зависноста  $I_{od} = f(U)$  во двата случаи има различен карактер. Кога струјата минува низ некој цврст диелектрик, каков што е и лискулот, се уочува нејзин нелинеарен пораст со порастот на напонот. Меѓутоа таа нелинеарност не е многу голема и спроводливоста на изолацијата до нејзиниот пробој расте не повеќе од десет пати.

Ако струјата тече по површината од изолацијата, на пример при трајна грешка на челните делови од намотката, зависноста на спроводливоста од приложениот напон ќе зависи од процесите во слојот од воздух, кој налегнува на површината од изолацијата. Зависноста  $I_{od} = f(U)$  добива карактеристичен превој, кој е определен со почетокот на ударната јонизација, после кој почнува јако непропорционален пораст на струјата од напонот.

Би се рекло дека аналогни односи може да се добијат при трајни грешки во каналската изолација на намотката. Меѓутоа, сметајќи на релативно малата електрична цврстина на воздухот ( $30 \text{ kV/cm}$  и рамномерно поле при атмосферски притисок), треба да се очекува, дека при такви грешки пробој ќе настане при напони пониски од испитните.

#### 4.3. Оценка на влажноста на изолацијата на генераторите според карактерот на промената $I_{od} = f(U)$

Ако изолацијата е јако навлажнета, тогаш на кривата  $I_{od} = f(U)$  нема превојни точки, меѓутоа при некој напон, на челните врски се јавува дим, што сведочи за зачетокот на тлеење на делови од изолацијата. Ако изолацијата не е навлажнета и нема грешки, тогаш струите на одведување се пропорционални на напонот (во диапазон на нормалните испитни напони). Ако навлажнувањето е од привремен карактер во кривата  $I_{od} = f(U)$  се приметувва превој, после кој во некои случаи почнува тлеење на изолацијата.

Нелинеарноста на кривата  $I_{od} = f(U)$  при навлажнета изолација може да се објасни со јонизацијата на воздухот во зазорите, кои се наоѓаат на патот на одведување на струјата. Ако површината на изолацијата е јако навлажнета, сите воздушни зазори во меѓуфазната изолација се шантираат со тие нејзини делови и на изолацијата спрема куќиштето. Ако изолацијата не е навлажнета, тогаш можни се јонизациони процеси во мали зазори кои малку влијаат врз вкупната струја на одведување, бидејќи истите се вклучени сериски со деловите, кои имаат голем отпор на изолација.

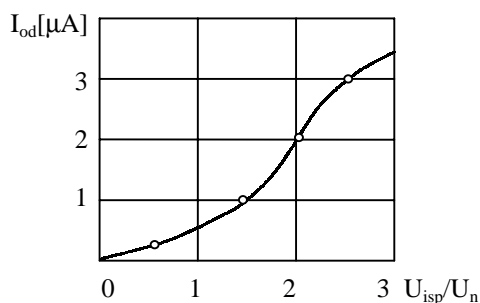
Ако изолацијата е неконтинуирано навлажнета шантирачкото дејство на деловите од изолацијата кои се допираат не е доволно за да се елиминира јонизацијата во воздушните зазори. Притоа, во прв ред на јонизација се подложени зазорите на меѓуфазната изолација; струјата кон зазорите дотечува по навлажнетата површина на изолацијата, која има мал отпор. Како резултат на тоа јонизацијата во малите зазори доведува до пораст на струјата на одведување, а се јавуваат и микролакови, кои се прошируваат со пораст на напонот.

Прашањето за сушење на генераторите се решава поаѓајќи од степенот на нелинеарност на кривата  $I_{od} = f(U)$ . Критериум за навлажнување претставува коефициентот на нелинеарност како однос на отпорите на изолацијата при напон, близок до  $0,5U_n$  и при нормиран испитен напон:  $K_U = \frac{I_{\max} U_{\min}}{I_{\min} U_{\max}}$ , каде

$U_{\max}, I_{\max}$  - полн испитен напон и струја на одведување при тој напон;  $U_{\min}, I_{\min}$  - напон при првиот степен (близок до  $0,5U_n$ ) и струја на одведување при тој напон.

Дали генераторите ќе се вклучат во работа без сушење се оценува врз основа на мерењата на трите величини: отпорот на изолацијата, величината  $R_{60''} / R_{15''}$  и коефициентот на нелинеарност. Коефициентот на нелинеарност, мерен во дијапазонот на напони погоре наведени, не треба да биде помал од 3.

При јако навлажнување коефициентот на нелинеарност е близок на единица и при испитување со еднонасочен напон изолацијата почнува да тлее. Од тие причини се утврдени граничните вредности на струите на одведување над кои не се препорачува да се продолжи со испитувањето (сл.5). Граничните вредности на струите на одведување, утврдени за првите степени на напонот (до  $1,5U_n$ ), сами по себе уште се неопасни, меѓутоа укажуваат на можноста за пораст на струјата на одведување до опасни вредности во случај на понатамошен пораст.



Сл.5. Нормирани гранични вредности на струите на одведување.

#### 4. ЗАКЛУЧОК

1. Дали испитувањата со висок напон треба да претставуваат основа на профилактичките испитувања на генераторите?

Одговорот е потврден, бидејќи сите методи за проценка на состојбата на IS и така користат висок напон.

2. Кои видови на висок напон треба да се користи како испитен напон?

Треба да се користат и наизменичен и еднонасочен напон, бидејќи секој за себе има определени предности.

3. Која треба да биде величината на испитните напони?

Наизменичен: -  $1,5U_n$  при капитален ремонт

-  $(1,2-1,3)U_n$  при нормален ремонт.

Еднонасочен: -  $(2,2-2,5)U_n$  - при мерење на струјата на одведување со цел откривање грешки на челните врски и навлажување

-  $(2,5-3,0)U_n$  - едноминутно испитување.

4. Дали испитувањата со еднонасочен напон може да ги заменат испитувањата со наизменичен напон, како што е тоа предвидено во [1]? Не.

#### 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Tehnicke preporuke za prijem i pracenje stanja izolacije visokonaponskih rotacionih strojeva u hidroelektranama i termoelektranama. JUGEL. Zagreb, 1981
- [2]. Р.Миновски, З. Здравковиќ, Р. Наумов, П.Вукелја. За доверливоста на работата на изолацијата на објектите за висок напон при дејство на пренапони. II-ро советување на МАКО СИГРЕ, Струга, 1998 година
- [3]. В.Б. Кулаковскиџ. Работа изолџции в генераторах: Возникновение и методи виџвлениџдефектов. "Ўнергоиздат", 1981
- [4]. Обџем и норми испитаниџ електрооборудуваниџ. Министерство енергетики и електрификации СССР, 1978 год.
- [5]. Паспорт- Синхронниџ трехфазниџ турбогенератор тип ТВВ-200-2АУЗ 1985