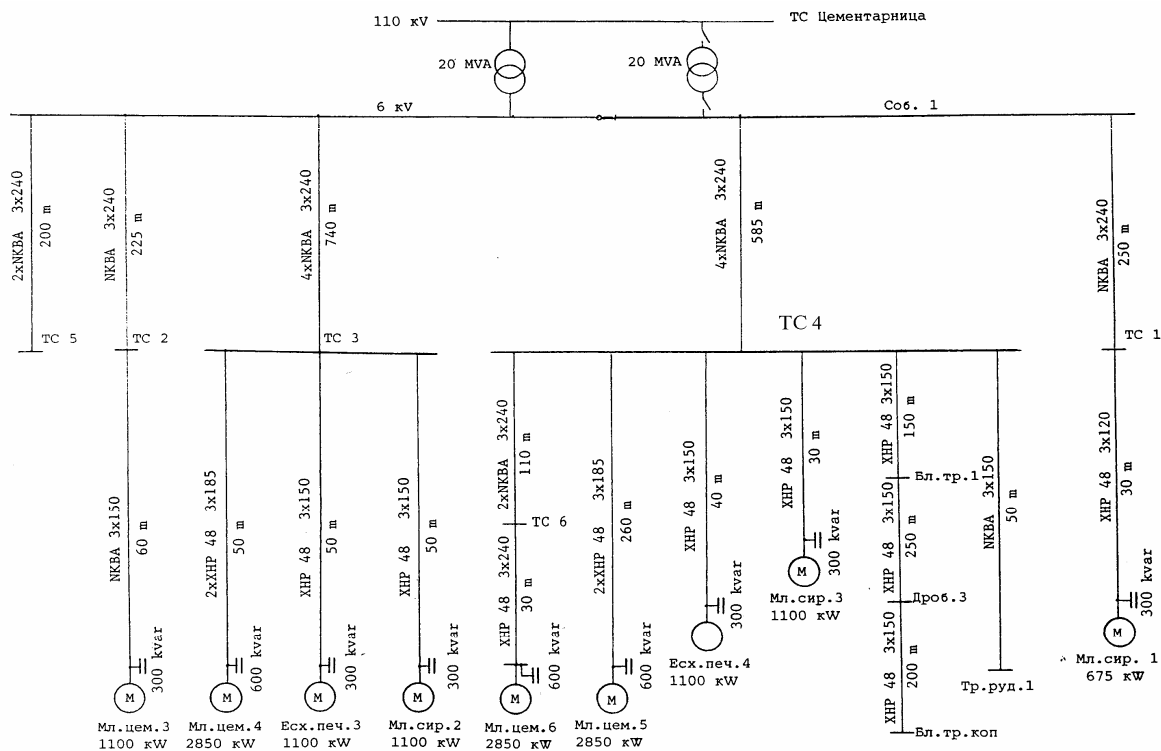


## Семинарска задача бр. 5.

### Пресметка на напонски јами (voltage sags) при куси врски во електроенергетската мрежа

#### Решен пример



Слика 1. 6 kV напојна мрежа на Цементарницата „ТИТАН“ (УСЈЕ)

Се разгледува повторно 6 kV мрежа на Цементарницата "УСЈЕ" во Скопје, анализирана во претходната семинарска работа (слика 1). Таа се напојува со електрична енергија од ТС 110 kV "Скопје 2" преку 110 kV далновод долг  $L = 1,8$  km, со спроводници Al/Fe 150/25 mm<sup>2</sup> и подолжни параметри  $\underline{z} = (r+jx) = (0,194+j0,41)$   $\Omega/\text{km}$ . Моќноста на трифазна куса врска на ЕЕС за суптранзиентен период, посматрана од собирниците 110 kV на напојната ТС Скопје 2 изнесува 5000 MVA. Во трафостаницата 110/6 kV на Цементарница "УСЈЕ" работи само еден енергетски трансформатор. Другиот енергетски трансформатор 110/6 kV претставува резерва и е исклучен од погонот.

Да се пресмета:

- големината на напонската јама кај секоја од собирниците 6 kV за случај на **еднофазна** куса врска настаната на собирницата 110 kV.
- големината на напонската јама кај секоја од собирниците 6 kV за случај на **трифазна** куса врска настаната на собирницата ТС 5.
- големината на напонската јама на местото на грешката за случај на **двофазна** куса врска настаната на собирниците ТС 5.

г) колкави ќе бидат напонските јами при собирниците 6 kV во мрежата за случајот на трифазна куса врска настаната на собирницата ТС 5 доколку обата трансформатора 110/6 kV/kV работат во паралела.

**Останати податоци:**

**Моќност на трифазна куса врска** на собирниците „Скопје 2“ за суптранзиентен период:  $S_{k3}'' = 5000 \text{ MVA}$  ;

**Енергетски трансформатори 110/6 kV/kV:**

Номинална моќност:  $S_{nT} = 20 \text{ MVA}$

Преносен однос:  $U_{1n}/U_{2n} = (110 \pm 10 \times 1,5\%) / 6,3 \text{ kV} / \text{kV}$

Напон на куса врска:  $u_k\% = 11,3\%$ ; Спрега: Yd5; однос  $X_T/R_T = 20$ .

**110 kV далекувод:**

Спроводници: Al/Fe 150/25 mm<sup>2</sup>; Должина:  $L = 1,8 \text{ km}$

Подолжни параметри:  $\underline{z} = (r+jx) = (0,194 + j0,41) \Omega/\text{km}$

**Енергетски кабли:**

Тип IPO 13 (NKBA): изолација од хартија (IP) спроводници од бакар; реактанција по km должина:  $x_{k1} = 0,08 \Omega/\text{km}$

тип ХНР48: изолација од вмрежен полиетилен (XLPE); спроводници од бакар;  $x = 0,09 \Omega/\text{km}$ .

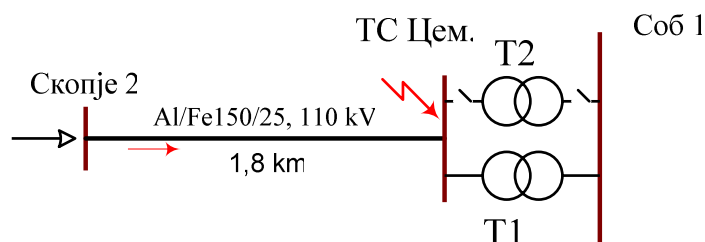
Останатите параметри на кабелските водови во мрежата 6 kV (должини во m, број паралелни кабли и номинален пресек во mm<sup>2</sup>) се дадени на самата слика.

### **Решение:**

Задачата ќе ја решиме само за случајот а) кога работи само еден трансформатор 110/6 kV/kV.

#### **а) Еднофазна куса врска настаната на 110 kV собирници**

Во овој случај е доволно да се посматра само високонапонскиот дел од мрежата на потегот помеѓу напојната трафостаница Скопје 2 и главните 6 kV собирници Соб 1 (слика 2). Притоа е потребно (и доволно) да се определат фазните напони  $\underline{V}_A$ ,  $\underline{V}_B$  и  $\underline{V}_C$  на главните 6 kV собирници Соб 1 што ќе се воспостават по настанувањето на кусата врска. Тие напони ќе бидат практично исти и за сите преостанати јазли од СН мрежа.



**Слика 2. Еднополна заменска шема на посматраниот дел од системот**

Соодветните заменски шеми за директен, инверзен и нулти систем се прикажани на сликата 3. Параметрите за директниот (а тие се исти и за инверзниот) систем се веќе пресметани во претходната семинарска работа.

Во поглед на нултиот систем е претпоставено дека еквивалентната реактанција за нулти редослед за ЕЕС е за 20% поголема од соодветната суптранзиентна реактанција, т.е.:

$$X_{EES,0} = 1,2 \cdot X_{EES,d} = 1,2 \cdot X''_{EES} = 1,2 \cdot 2,42 = 2,904 \, \Omega.$$

Инаку, во поглед на големината на нултата еквивалентна реактанција на големите ЕЕС е вообичаено да важи:

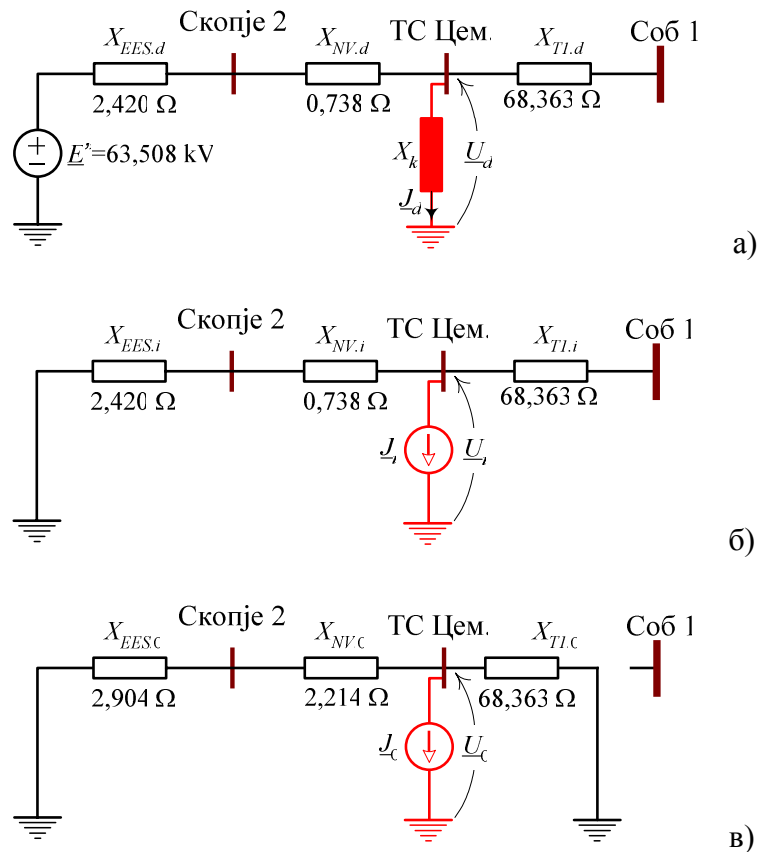
$$1,0 \cdot X''_{EES} < X_{EES,0} < 1,5 \cdot X''_{EES}.$$

Исто така е претпоставено дека 110 kV надземен вод е снабден со челично заштитно јаже и дека неговата нулта реактанција е за 3 пати поголема од директната, т.е. важи:

$$x_0 = 3 \cdot x = 3 \cdot 0,41 = 1,23 \, \Omega/\text{km} \text{ и}$$

$$X_{NV,0} = 3 \cdot X_{NV,d} = 3 \cdot 0,738 = 2,214 \, \Omega.$$

Сега можеме да ги пресметаме влезните, т.е. еквивалентните реактанции на еквивалентните кола за директен, инверзен и нулти редослед, посматрани во однос на местото на кусата врска, т.е. 110 kV собирници ТС Цем.



**Слика 3. Заменски шеми за директен, инверзен и нулти редослед**

### *Пресметка на еквивалентните реактанции $X_{d.e}$ , $X_{i.e}$ и $X_{0.e}$*

Еквивалентната, т.е. влезната реактанција  $X_{d.e}$  во колото за директен редослед ќе се добие врз основа на колото од сликата 3а, како влезна реактанција помеѓу јазелот ТС Цем. (т.е. местото на кусата врска) и замислениот повратен пат (земјата), без присуство на фиктивната "реактанција на куса врска"  $X_k$  којашто е на сликата означена со црвена боја. На тој начин ќе добиеме:

$$X_{d.e} = X_{NV.d} + X_{EES.d} = 0,738 + 2,420 = 3,158 \Omega.$$

Еквивалентната, т.е. влезната реактанција  $X_{i.e}$  во колото за инверзен редослед ќе се добие врз основа на колото од сликата 3б, како влезна реактанција помеѓу јазелот ТС Цем. (т.е. местото на кусата врска). Таа, значи, ќе биде по големина иста со директната, т.е. ќе имаме:

$$X_{i.e} = X_{NV.i} + X_{EES.i} = 0,738 + 2,420 = 3,158 \Omega \equiv X_{d.e}.$$

Слично, за еквивалентната нулта реактанција  $X_{0.e}$  ќе добиеме:

$$X_{0.e} = X_{NV.0} + X_{EES.0} = (2,214 + 2,904) \parallel 68,363 = 4,762 \Omega.$$

### *Пресметка на приликите на местото на грешката*

Реактанција на куса врска  $X_k$  (која што се нарекува уште и „реактанција на грешката“), којашто во колото за директен редослед се поставува на местото на грешката и низ којашто тече директната компонента на струјата  $I_d$ , за случајот на еднофазна куса врска [1], ќе биде:

$$X_k = X_{i.e} + X_{0.e} = 3,158 + 4,762 = 7,920 \, \Omega.$$

$$E'' = U_{nf} = U_n / \sqrt{3} = 110 / \sqrt{3} = 63,508 \, \text{kV};$$

$$J_d = J_i = J_0 = \frac{E''}{X_d + X_k} = \frac{63,501}{3,158 + 7,920} = 5,733 \, \text{kA}.$$

Симетричните компоненти на фазните напони на местото на грешката ќе бидат:

$$U_d = X_k \cdot J_d = 7,920 \cdot 5,733 = 45,403 \, \text{kV};$$

$$U_i = -X_i \cdot J_i = -3,158 \cdot 5,733 = -18,105 \, \text{kV} \text{ и}$$

$$U_0 = -X_0 \cdot J_0 = -4,762 \cdot 5,733 = -27,298 \, \text{kV}.$$

Фазните напони  $\underline{V}_A$ ,  $\underline{V}_B$  и  $\underline{V}_C$  на местото на кусата врска (ТС Цем.) ќе бидат:

$$\underline{V}_A = \underline{U}_d + \underline{U}_i + \underline{U}_0 = 45,403 - 18,105 - 27,298 = 0;$$

$$\underline{V}_B = \underline{a}^2 \underline{U}_d + \underline{a} \underline{U}_i + \underline{U}_0 = (-40,947 - 55,0) = 68,569 \cdot e^{j233,3^\circ} \, \text{kV};$$

$$\underline{V}_C = \underline{a} \underline{U}_d + \underline{a}^2 \underline{U}_i + \underline{U}_0 = (-42,947 - 55,0) = 68,569 \cdot e^{j126,7^\circ} \, \text{kV}.$$

### ***Пресметка на напонските прилики на 6 kV собирници Соб. 1***

Симетричните компоненти на фазните напони на местото на главните 6 kV собирници Соб. 1, сведени на 6 kV ниво, ќе бидат:

$$U_{d.\text{Соб.1}} = 45,403 \cdot (6,3/110) = 2,600 \, \text{kV};$$

$$U_{i.\text{Соб.1}} = -18,105 \cdot (6,3/110) = -1,037 \, \text{kV} \text{ и}$$

$$U_{0.\text{Соб.1}} = 0.$$

Нултата компонента на напонот при Соб.1 е 0 заради фактот што трансформаторот Т1 претставува прекинато коло за нултиот систем (сл. 3).

Фазните напони  $\underline{V}_A$ ,  $\underline{V}_B$  и  $\underline{V}_C$  на собирниците Соб. 1 ќе бидат:

$$\underline{V}_{A.\text{Соб.1}} = \underline{U}_{d.\text{Соб.1}} + \underline{U}_{i.\text{Соб.1}} + \underline{U}_{0.\text{Соб.1}} = 1,563 \cdot e^{j0^\circ} \, \text{kV};$$

$$\underline{V}_{B.\text{Соб.1}} = \underline{a}^2 \underline{U}_{d.\text{Соб.1}} + \underline{a} \underline{U}_{i.\text{Соб.1}} + \underline{U}_{0.\text{Соб.1}} = 3,236 \cdot e^{-j103,9^\circ} \, \text{kV};$$

$$\underline{V}_{C.\text{Соб.1}} = \underline{a} \underline{U}_{d.\text{Соб.1}} + \underline{a}^2 \underline{U}_{i.\text{Соб.1}} + \underline{U}_{0.\text{Соб.1}} = 3,236 \cdot e^{+j103,9^\circ} \, \text{kV}.$$

Добиените резултати се однесуваат на случајот кога пред настанувањето на кусата врска системот работел во режим на празен од а напонот на 110 kV страна бил еднаков на номиналниот,  $U=U_n=110 \, \text{kV}$ . Во тој случај напонот на 6 kV страна при собирницата Соб. 1, а и насекаде во 6 kV мрежа, би бил:

$$U_{6\text{kV}} = U / k_T = 110 \cdot (6,3/110) = 6,3 \, \text{kV};$$

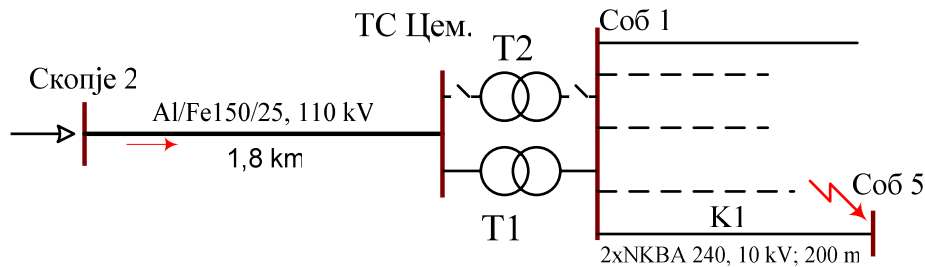
$$V_{6\text{kV}} = U_{f,6\text{kV}} = U_{6\text{kV}} / \sqrt{3} = 6,3 / \sqrt{3} = 3,637 \, \text{kV}.$$

Од тука произлегува дека напонските јами (Voltage Sags – VS) за одделните фази на 6 kV собирници, а и насекаде во 6 kV мрежа, ќе бидат:

$$VS_A = \frac{1,563}{3,637} \cdot 100 = 43\%; \quad VS_B = VS_C = \frac{3,236}{3,637} \cdot 100 = 89\%.$$

### б) Трифазна куса врска настаната на собирниците ТС 5

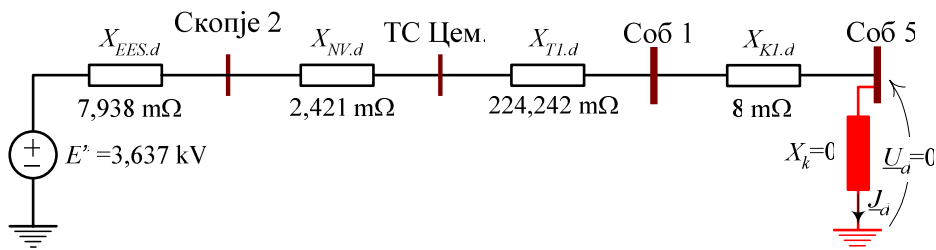
Во овој случај ќе се посматра само директниот систем и тоа на потегот ЕЕС – ТС Цем. – Соб. 1 – Соб 5 (слика 4). Сите величини (струи и напони) во инверзниот и нултиот систем ќе бидат еднакви на нула.



**Слика 4. Приказ на посматраниот дел од системот**

На сликата 5 е прикажана соодветната заменска шема на колото за директен редослед. Во неа се внесени соодветните реактанции на поедините елементи за директен редослед, сведени на 6 kV страна. Реактанцијата на еквивалентниот кабел К1, којшто се состои од два паралелни кабла, тип НКБА 3×240, 10 kV (IPO 13 3×240), долги по  $l_{K1} = 200\text{m}$ , изнесува:

$$X_{K1} = \frac{1}{2} \cdot x \cdot l_{K1} = \frac{1}{2} \cdot 0,08 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ } \Omega.$$



**Слика 5. Заменска шема за директен редослед на системот од слика 4**

На тој начин за еквивалентната реактанција  $X_e = X_{d,e}$ , мерена од местото на грешката (јазелот Соб. 5), ќе добиеме:

$$X_e = 7,938 + 2,421 + 224,242 + 8 = 242,6 \text{ m}\Omega = 0,2426 \text{ } \Omega.$$

Директната компонента на струјата на трифазна куса врска,  $J_d$ , во овој случај, (за трифазна куса врска  $X_k = X_3 = 0$ ) ќе имаме:

$$J_d = \frac{E''}{X_{d,e} + 0} = \frac{3,637}{0,2426 + 0} = 14,993 \text{ kA}.$$

Директната компонента на напонот  $U_{d,\text{Соб.5}}$  на местото на кусата врска и на главните 6 kV собирници Соб. 1, ќе бидат:

$$U_{d,\text{Соб.5}} = X_k \cdot J_d = 0;$$

$$U_{d,\text{Соб.1}} = U_{d,\text{Соб.5}} + X_{k1} \cdot J_d = 0,008 \cdot 14,993 = 0,12 \text{ kV}.$$

Бидејќи кај трифазната куса врска фазните напони се еднакви на директната компонента на напонот, произлегува дека напонската јама за сите три фазни напони при главните собирници ќе биде:

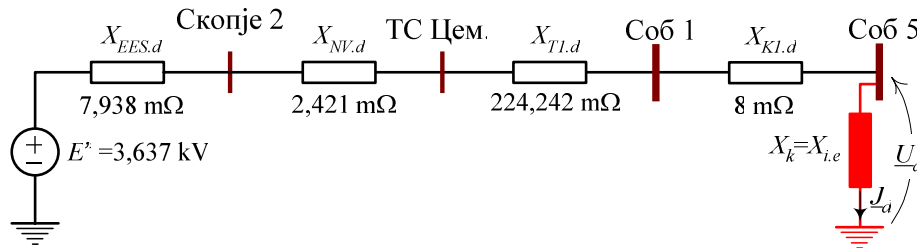
$$VS_A = VS_B = VS_C = \frac{0,12}{3,637} \cdot 100 = 3,3\%.$$

Овие вредности на напонските јами ќе бидат насекаде низ 6 kV мрежа.

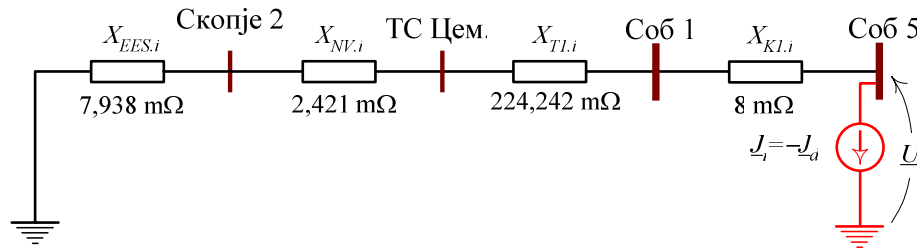
### в) Двофазна куса врска настаната на собирниците ТС 5

Во овој случај ќе се посматраат само директниот и инверзниот систем, повторно на потегот ЕЕС – ТС Цем. – Соб. 1 – Соб 5 (слика 4). Сите величини (струии и напони) во нултиот систем ќе бидат еднакви на 0.

На сликата 6 е прикажана соодветната заменска шема на колото за директен редослед, додека на сликата 7 е прикажана соодветната заменска шема на колото за инверзен редослед.



Слика 6. Заменска шема за директен редослед на посматраниот систем



Слика 7. Заменска шема за инверзен редослед на посматраниот систем

Во овој случај ќе имаме:

$$X_{d.e} = X_{i.e} = 7,938 + 2,421 + 224,242 + 8 = 242,6 \text{ m}\Omega = 0,2426 \text{ }\Omega.$$

Сега ќе биде:

$$X_k = X_{i.e} = 0,2426 \text{ }\Omega;$$

$$J_d = \frac{E''}{X_{d.e} + X_k} = \frac{3,637}{0,2426 + 0,2426} = 7,5 \text{ kA};$$

$$J_i = -J_d = -7,5 \text{ kA};$$

$$J_0 = 0.$$

### Прилики на местото на кусата врска Соб. 5

Симетричните компоненти на напоните на местото на к.врска ќе бидат:

$$U_d = X_k \cdot J_d = 0,2436 \cdot 7,5 = 1,819 \text{ kV};$$

$$U_i = U_d = 1,819 \text{ kV};$$

$$U_0 = 0.$$

Фазните напони на местото на кусата врска ќе бидат:

$$V_{A.Co6.5} = U_d + U_i + U_0 = 2 \cdot 1,819 = 3,638 \text{ kV};$$

$$V_{B.Co6.5} = \underline{a}^2 U_d + \underline{a} U_i + U_0 = (a^2 + a) \cdot U_d = -U_d = -1,819 \text{ kV};$$

$$V_{C.Co6.5} = \underline{a} U_d + \underline{a}^2 U_i + U_0 = (a + a^2) \cdot U_d = -U_d = -1,819 \text{ kV}.$$

Напонските пропади (јами на местото на кусата врска ќе бидат:

$$VS_A = \frac{3,638}{3,637} \cdot 100 = 100\%; \quad VS_B = VS_C = \frac{1,819}{3,637} \cdot 100 = 50\%.$$

### *Прилики на местото на главните 6 kV собирници Соб. 1*

Симетричните компоненти на напоните на собирниците Соб. 1 ќе бидат (видете ја сликата 6):

$$U_{d.Co6.1} = U_{d.Co6.5} + X_{k1} \cdot J_d = 1,819 + 0,008 \cdot 7,5 = 1,879 \text{ kV};$$

$$U_{i.Co6.1} = U_{i.Co6.5} + X_{k1} \cdot J_i = 1,819 + 0,008 \cdot (-7,5) = 1,759 \text{ kV};$$

$$U_{0.Co6.1} = 0.$$

Фазните напони на местото на кусата врска ќе бидат:

$$V_{A.Co6.5} = U_{d.Co6.5} + U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5};$$

$$V_{B.Co6.5} = \underline{a}^2 U_{d.Co6.5} + \underline{a} U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5};$$

$$V_{C.Co6.5} = \underline{a} U_{d.Co6.5} + \underline{a}^2 U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5}.$$

или

$$V_{A.Co6.5} = U_{d.Co6.5} + U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5} = 3,638 \cdot e^{j0^\circ} \text{ kV};$$

$$V_{B.Co6.5} = \underline{a}^2 U_{d.Co6.5} + \underline{a} U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5} = 1,822 \cdot e^{j-176,7^\circ} \text{ kV};$$

$$V_{C.Co6.5} = \underline{a} U_{d.Co6.5} + \underline{a}^2 U_{i.Co6.5} + U_{0.Co6.5} = 1,822 \cdot e^{j176,7^\circ} \text{ kV}.$$

Напонските пропади (јами на местото на кусата врска ќе бидат:

$$VS_A = \frac{3,638}{3,637} \cdot 100 = 100\%;$$

$$VS_B = VS_C = \frac{1,822}{3,637} \cdot 100 = 50,1\%.$$