

ВТОР ПАРЦИЈАЛЕН ИСПИТ ПО "ВИСОКОНАПОНСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ"

Задача 1. На сликата 1 е прикажана мрежа во која што сите водови имаат исти карактеристики и исти подолжни параметри $x = 0,4 \Omega/\text{km}$ (за директен систем) и $x_0 = 1,2 \Omega/\text{km}$ (за нулти систем). Должините на водовите се дадени на сликата. Мрежата е приклучена на ЕЕС со дефинирана моќност на куса врска, а истовремено во неа работи и една електрична централа со два блока генератор-трансформатор. Се разгледува еднофазна куса врска во суптранзиентниот период, настаната на една третина на еден од паралелните водови 1-2 (локација „К“). Пред настанувањето на кусата врска системот бил номинално оптоварен ($E = 1,1 \cdot U_{\text{nf}}$).

- а) да се нацртаат еквивалентните шеми за директен, инверзен и нулти систем; на локацијата на куса врска да се пресметаат влезните импеданции за директен, инверзен и нулти систем;
- б) фазните струи и ефективната вредност на напоните на местото на куса врска;
- в) фазните струи кои ќе течат низ водовите 1-К и 2-К.

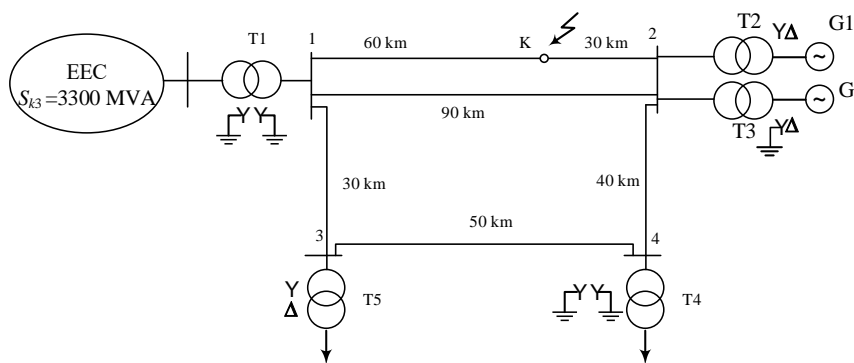
Останати податоци: ЕЕС: $U_n = 220 \text{ kV}$; $S''_{k3} = 3300 \text{ MVA}$; $x''_d = x_i = x_0$; $x'_d = 1,1 \cdot x''_d$

$G1 = G2$: $S_n = 150 \text{ MVA}$; $U_n = 15,75 \text{ kV}$; $x''_d = x_i = 20\%$; $x'_d = 50\%$; $x_d = 120\%$; $x_0 = 8\%$

T_1 : $S_n = 150 \text{ MVA}$; 110/231 kV/kV; $u_k = 12\%$

$T_2 = T_3$: $S_n = 150 \text{ MVA}$; 15,75/115,5 kV; $u_k = 11\%$

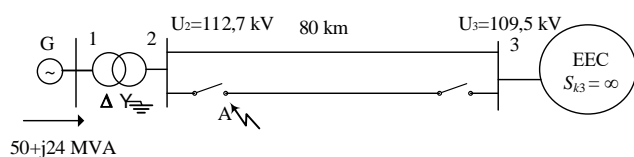
$T_4 = T_5$: $S_n = 31,5 \text{ MVA}$; 110/10,5 kV; $u_k = 10\%$



Слика 1.

Задача 2. Во системот на сликата 2 генераторот G преку трансформаторот T и паралелни преносни водови со $x = 0,4 \Omega/\text{km}$ ($x_0 = 1,4 \Omega/\text{km}$) и должина од 80 km оддава моќност на крута мрежа. Напонот на крутата мрежа изнесува $U_3 = 109,5 \text{ kV}$, а во дадениот режим на работа генераторот G оддава моќност со вредност $(50 + j24) \text{ MVA}$. Во моментот $t = 0$ доаѓа до појава на трифазна куса врска во точката A во непосредна близина на прекинувачот кај собирниците на јазелот 2. Кусата врска се елиминира со исклучување на обата прекинувача на водот при што тие цело време остануваат исклучени. За дадениот режим на работа на генераторот е позната неговата електромоторна сила $\underline{E} = (129,85 + j42,4) \text{ kV}$.

- а) Да се одреди аголот θ_0 и да се пресметаат и скицираат функциите $P_e = P_M \cdot \sin(\theta)$, за трите карактеристични случаеви: пред настанување на кусата врска, за време на кусата врска и по исклучувањето на „повредениот“ вод;
- б) Да се одреди граничното време на исклучување на кусата врска, за кое генераторот би останал во синхронизам;
- в) *Бонус прашање:* Да се скицира (без нумерички пресметки) како би се применило правилото на еднакви површини во случај кога наместо трифазната куса врска во точката A , настанува еднофазна куса врска. Дали овој случај е помалку поволен од аспект на динамичка стабилност на генераторот, во однос на случајот на трофазна куса врска во точката A . Да се даде кусо образложение.



Слика 2.

Податоци за трансформаторот и генераторот:

T : 80 MVA; 121/10,5 kV/kV; $u_k = 12\%$;

G : 80 MVA; 10,5 kV; $\cos\phi_n = 0,9$; $T_1 = 5 \text{ s}$;

$x''_d = x_i = 20\%$; $x'_d = 30\%$; $x_d = 160\%$; $x_0 = 10,5\%$

Време: 120 мин. Поени: 1а) 35 1б) 10 1в) 25 2а) 10 2б) 20 2в) 20

Решенија на задачите втор парцијален испит по предметот
ВИСОКОНАПОНСКИ МРЕЖИ И СИСТЕМИ, одржан на 21.01.2020

1a)

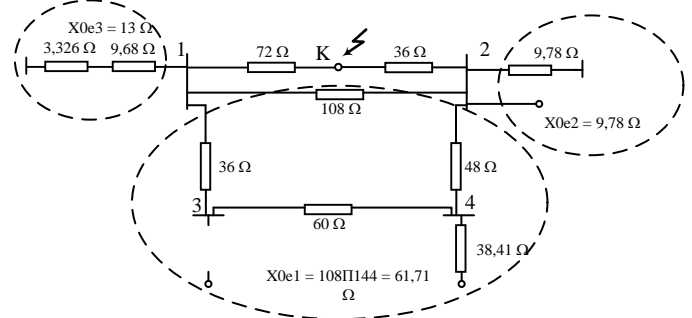
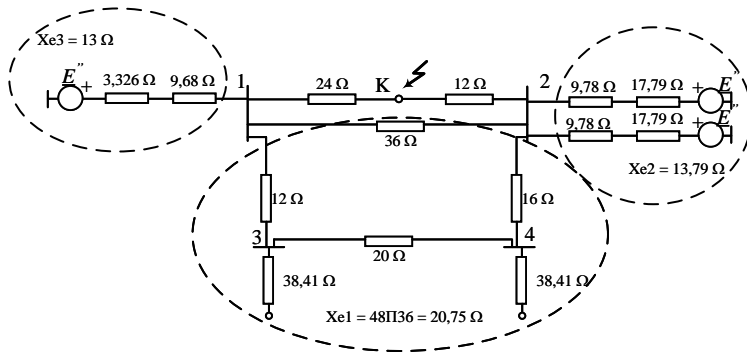
$$X_{ees} = \frac{220^2}{3300} \cdot \frac{110^2}{231^2} = 3,326 \Omega$$

$$X_{T1} = 0,12 \cdot \frac{110^2}{150} = 9,68 \Omega$$

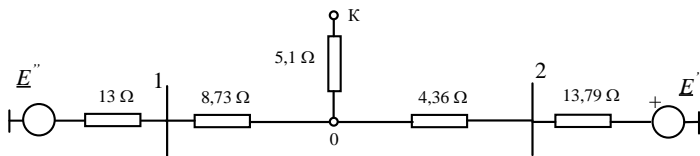
$$X_{G1} = X_{G2} = 0,2 \cdot \frac{115,5^2}{150} = 17,79 \Omega$$

$$X_{T2} = X_{T3} = 0,11 \cdot \frac{115,5^2}{150} = 9,78 \Omega$$

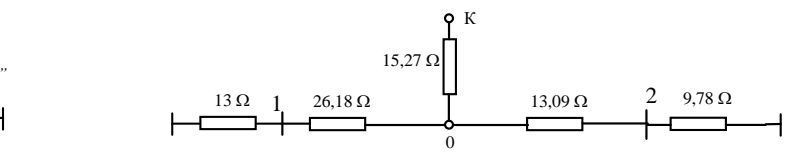
$$X_{T4} = X_{T5} = 0,1 \cdot \frac{110^2}{31,5} = 38,41 \Omega$$



1b)



$$\underline{Z}_d = (13j + 8,73j) \Pi (4,36j + 13,79j) + 5,1j = j14,99 \Omega$$



$$\underline{Z}_0 = (13j + 26,18j) \Pi (13,09j + 9,78j) + 15,27j = j29,71 \Omega$$

$$\underline{I}_d = \frac{1,1 \cdot 110}{\sqrt{3} \cdot (2 \cdot j14,99 + j29,71)} = -j1,17 \text{ kA} = \underline{I}_i = \underline{J}_0$$

$$\underline{I}_{kA} = \underline{I}_d + \underline{I}_i + \underline{J}_0 = -j3,51 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{kB} = \underline{I}_{kC} = (a^2 + a) \cdot \underline{I}_d + \underline{J}_0 = -\underline{I}_d + \underline{J}_0 = 0 \text{ A}$$

$$\underline{U}_d = \underline{I}_d \cdot \underline{Z}_k = -j1,17 \cdot j(14,99 + 29,71) = 52,299 \text{ kV}$$

$$\underline{U}_i = -\underline{I}_i \cdot \underline{Z}_i = j1,17 \cdot j14,99 = -17,54 \text{ kV}$$

$$\underline{U}_0 = -\underline{J}_0 \cdot \underline{Z}_0 = j1,17 \cdot 29,71 = -34,76 \text{ kV}$$

$$\underline{U}_{kA} = \underline{U}_d + \underline{U}_i + \underline{U}_0 = 0 \text{ kV}$$

$$\underline{U}_{kB} = -\underline{U}_{kC} = a^2 \cdot \underline{U}_d + a \cdot \underline{U}_i + \underline{U}_0 = -52,14 - j60,48 \text{ kV}; \underline{U}_B = \underline{U}_C = 79,85 \text{ kV}$$

1b)

Директен и инверзен ситем, струи низ ѕвезда

$$\underline{I}_{(K-0)d} = \underline{I}_d = -j1,17 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(1-0)d} = \underline{I}_{(K-0)d} \cdot \frac{j4,36 * j13,79}{j4,36 + j13,79 + j8,73 + j13} = -j0,532 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(2-0)d} = \underline{I}_{(K-0)d} - \underline{I}_{(1-0)d} = -j0,638 \text{ kA}$$

Директен и инверзен систем, струи низ триаголник

$$\underline{I}_{(1-K)d} = \frac{j5,1 * (-j1,17) + j8,73 * (-j0,532)}{j24} = -j0,442 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(2-K)d} = -j0,729 \text{ kA}$$

Нулти систем, струи низ звезда

$$\underline{I}_{(K-0)0} = \underline{I}_0 = -j1,17 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(1-0)0} = \underline{I}_{(K-0)0} \cdot \frac{j13,09 + j9,78}{j13,09 + j9,78 + j26,18 + j13} = -j0,43 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(2-0)0} = \underline{I}_{(K-0)0} - \underline{I}_{(1-0)0} = -j0,74 \text{ kA}$$

Нулти систем струи низ триаголник

$$\underline{I}_{(1-K)0} = \frac{j26,18 * (-j0,43) + j15,27 * (-j1,17)}{j72} = -j0,404 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(2-K)0} = -j0,765 \text{ kA}$$

Фазни струи вод 1-К

$$\underline{I}_{(1-K)A} = \underline{I}_{(1-K)d} + \underline{I}_{(1-K)i} + \underline{I}_{(1-K)0} = 2 * (-j0,442) - j0,404 = -j1,288 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(1-K)B} = \underline{I}_{(1-K)C} = (a^2 + a) * \underline{I}_{(1-K)d} + \underline{I}_{(1-K)0} = j0,038 \text{ kA}$$

Фазни струи вод 2-К

$$\underline{I}_{(2-K)A} = \underline{I}_{(2-K)d} + \underline{I}_{(2-K)i} + \underline{I}_{(2-K)0} = 2 * (-j0,729) - j0,765 = -j2,223 \text{ kA}$$

$$\underline{I}_{(2-K)B} = \underline{I}_{(2-K)C} = (a^2 + a) * \underline{I}_{(2-K)d} + \underline{I}_{(2-K)0} = -j0,036 \text{ kA}$$

2а)

$$X'_d = 0,3 \cdot \frac{10,5^2}{80} \cdot \frac{121^2}{10,5^2} = 54,9 \Omega$$

$$X_T = 0,12 \cdot \frac{121^2}{80} = 21,96 \Omega$$

$$X_{V/2} = 80 \cdot 40 \cdot 0,5 = 16 \Omega$$

$$X_{ekv} = 92,86 \Omega$$

$$\underline{E}' = U_3 + \frac{Q \cdot X_{ekv}}{U_3} + j \cdot \frac{P \cdot X_{ekv}}{U_3} = 109,5 + \frac{24 \cdot 92,68}{109,5} + j \cdot \frac{50 \cdot 92,68}{109,5} = 129,85 + j42,4 \text{ kV} \Rightarrow E'$$

$$= 136,6; \theta_o = 18,08$$

$$P_{M1} = \frac{E' \cdot U_3}{X_{ekv}} = \frac{136,6 \cdot 109,5}{92,86} = 161,67$$

$P_{M2} = 0$ трофазна куса врска „блиску“ до генераторот

$$P_{M3} = \frac{E' \cdot U_3}{X'_d + X_T + X_V} = \frac{136,6 \cdot 109,5}{54,9 + 21,96 + 32} = 137,4$$

б)

$$\theta_{kr} = 180 - \arcsin \frac{P_0}{P_{M3}} = 158,66^\circ; A^+ = P_0 (\theta_{gr} - \theta_0) = A^- = \int_{\theta_{gr}}^{\theta_0} (P_M \sin \theta - P_0) d\theta;$$

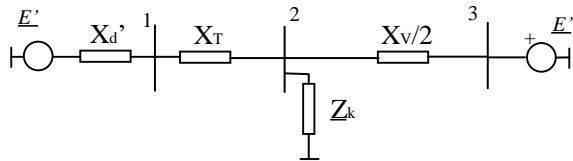
$$\theta_{gr} = \arccos \left[\frac{P_0 (\theta_{kr} - \theta_0)}{P_{M3}} + \cos \theta_{kr} \right]; \theta_{gr} = \arccos \left[\frac{50(158,66 - 18,08) \cdot \frac{\pi}{180}}{137,4} + \cos 158,66 \right] = 92,21^\circ;$$

$$M = \frac{S_n T_J}{\omega_0} = \frac{80 \cdot 5}{18000} = \frac{1}{45} \text{ MW} \cdot \text{s}^2 / ^\circ; \theta(t) = \theta_0 + \frac{\Delta P}{M} \frac{t^2}{2} = \theta_{gr};$$

$$t = \sqrt{\frac{2(\theta_{gr} - \theta_0) \cdot M}{\Delta P}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (92,21 - 18,08)}{50 \cdot 45}} = 0,257 \text{ s}$$

в)

Овој случај е поповолен бидејќи во режим на еднофазна куса врска, дел од моќноста на генераторот се предава на крутата мрежа (преку неповредените фазни проводници). Тоа значи дека P_{M2} ќе биде поголемо од нула, па во режимот на еднофазна куса врска (до моментот на нејзиното исклучување) површината A^+ ќе биде помала во однос на површината A^+ во режим на трофазна куса врска (забрзувањето на роторот на генераторот ќе биде помало).



$$Z_k = j(X_i + X_0)$$

$$X_i = \frac{(X_i + X_T) \cdot X_{V/2}}{X_i + X_T + X_{V/2}} = \frac{(36,06 + 21,96) \cdot 16}{36,06 + 21,96 + 16} = 12,54 \, \Omega \quad ; \quad X_i = \frac{x_i}{100} \cdot \frac{121^2}{80} = 36,06 \, \Omega$$

$$X_0 = \frac{X_T \cdot X_{0(\frac{v}{2})}}{X_T + X_{0(\frac{v}{2})}} = \frac{21,96 \cdot 56}{21,96 + 56} = 15,77 \, \Omega \quad ; \quad X_{0(\frac{v}{2})} = 80 \cdot 1,4 \cdot 0,5 = 56 \, \Omega$$

Согласно горната слика:

$$X'_d + X_T = 54,9 + 21,96 = 76,86 \, \Omega$$

$$X_{V/2} = 16 \, \Omega$$

$$X_k = X_i + X_0 = 12,54 + 15,77 = 28,31 \, \Omega$$

Еквивалентниот импеданс помеѓу генераторот G и ЕЕС се добива со трансформација звезда/триаголник

$$X_{G-EES} = (X'_d + X_T) + X_{V/2} + \frac{(X'_d + X_T) \cdot X_{V/2}}{X_k} = 76,86 + 16 + \frac{76,86 \cdot 16}{28,31} = 136,3 \, \Omega$$

Максималната вредност на карактеристичната крива во периодот на траење на еднофазната куса врска изнесува:

$$P_{M2} = \frac{E' \cdot U_3}{X_{G-EES}} = \frac{136,6 \cdot 109,5}{136,3} = 109,74 \, MW$$