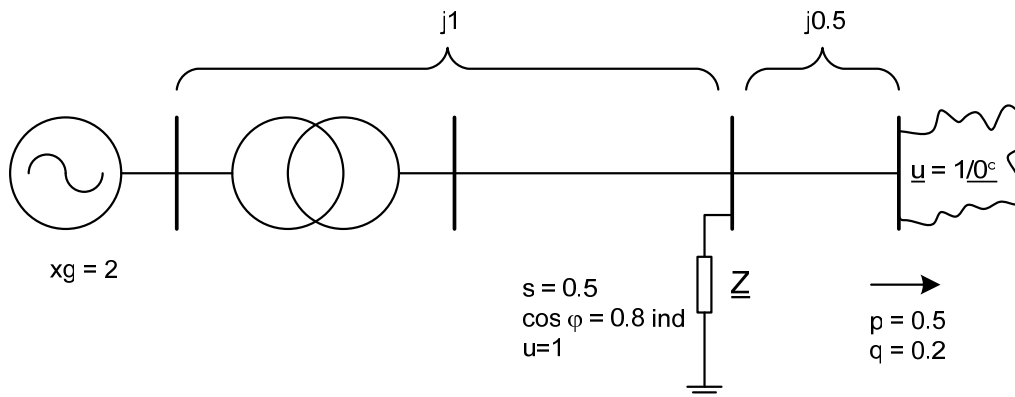
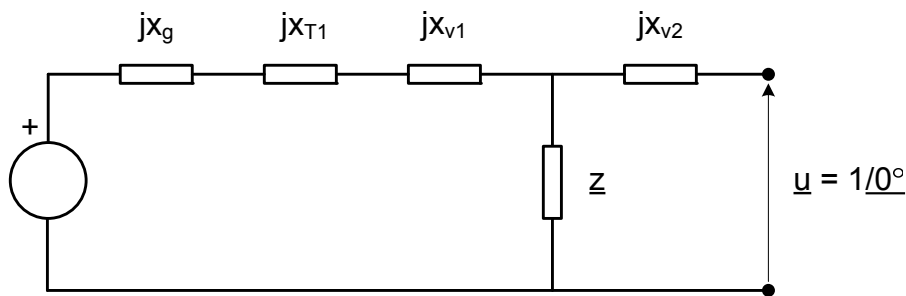


1. Izračunati aktivnu i reaktivnu snagu generatora i provjeriti statičku stabilnost sistema prikazanog na slici.



**Rješenje:**

Zamjenska šema sistema je:



Impedansa potrošača dobija se prema,

$$z = \frac{u^2}{s} (\cos \varphi + j \sin \varphi) = \frac{u^2}{s} / \varphi = \frac{1}{0.5} / \varphi = 2 / 36.87^\circ .$$

Izrazi za unutrašnje snage generatora su,

$$P_i = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \sin \psi_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \sin(\delta_{i1} - \psi_{ij})$$

$$Q_i = \text{Im} \{ \underline{S}_i \} = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \psi_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \cos(\delta_{i1} - \psi_{ij})$$

gdje je  $\psi_{ij} = 90 - \beta_{ij}$  a  $\beta_{ij}$  je fazni stav impedanse  $\underline{Z}_{ij}$ .

U slučaju jednomašinskog sistema (generator - mreža),

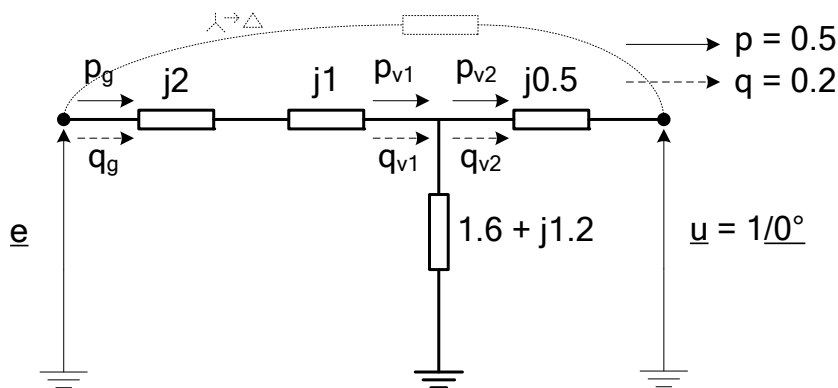
$$\begin{aligned}
 P &= \frac{E^2}{Z_{11}} \sin \psi_{11} + \frac{EU}{Z_{1U}} \sin(\delta_{1U} - \psi_{1U}) \\
 Q &= \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U})
 \end{aligned}
 \quad (*)$$

Da bi se provjerila statička stabilnost posmatranog sistema potrebno je iskoristiti **kriterijum sinhronizacionih koeficijenata**.

$$\begin{aligned}
 P_{Si} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \cos(\delta_{ij} - \psi_{ij}) > 0 \\
 P_{Si} &= \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \psi_{ii} - Q > 0
 \end{aligned}
 \quad \text{jednačine za višemašinski sistem.}$$

Za jednomašinski sistem jednačine su oblika,

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U}) > 0 \\
 P_s &= \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - Q > 0
 \end{aligned}
 \quad (**)$$



Da bi se primjenio kriterijum sinhronizacionih koeficijenata potrebno je prvo odrediti ems generatora, a ona se određuje rješavanjem problema tokova snaga za kolo prikazano na slici gore. Napon potrošača je,

$$u_p = 1 + \frac{0.5 \cdot 0 + 0.2 \cdot 0.5}{1} + j \frac{0.5 \cdot 0.5 - 0.2 \cdot 0}{1} = 1.1 + j0.25 = 1.128 / 12.8^\circ$$

Gubici u vodu v2 (reaktivni) su,

$$\Delta q_{v2} = \frac{0.5^2 + 0.2^2}{1^2} \cdot 0.5 = 0.145 \quad \text{dok aktivnih gubitaka nema.}$$

Sada je, uzimajući u obzir gubitke uvodu, snaga na početku voda v2:

$$p_{v2} = 0.5 \quad q_{v2} = 0.345$$

Gubitak snage u potrošaču je:

$$p_p = \frac{u_p^2}{z_p} \cos \varphi = \frac{1.128^2}{2} \cdot 0.8 = 0.51$$

$$q_p = \frac{u_p^2}{z_p} \sin \varphi = \frac{1.128^2}{2} \cdot 0.6 = 0.38$$

Sada je snaga na kraju voda 1,

$$p_{v1} = p_{v2} + p_p = 1.01$$

$$q_{v1} = q_{v2} + q_p = 0.725$$

Sada je moguće odrediti ems generatora prema jednačini:

$$e = u_p + \frac{q_{v1}(x_g + x_{v1})}{u_p} + j \frac{p_{v1}(x_g + x_{v1})}{u_p} = 4.069 / \underline{41.31^\circ}$$

Iz jednačine se vidi da je ems određena u odnosu na napon potrošača koji je uzet po faznoj osi, pa je potrebno izvršiti korekciju faznog stava ems i odrediti ga u odnosu na napon jake mreže, i to tako što se dobijenom faznom stavu doda fazni stav napona potrošača,

$$41.31 + 12.8 = 56.56^\circ.$$

$$\text{Sada je } \underline{e} = 4.069 / \underline{56.56^\circ}.$$

Određivanjem vrijednosti ems generatora stekli su se svi uslovi za primjenu kriterijuma sinhronizacionih koeficijenata.

$$z_{11} = j2 + j1 + \frac{j0.5(1.6 + j1.2)}{j0.5 + 1.6 + j1.2} = 3.423 / \underline{88.8^\circ}$$

$$\psi_{11} = 90^\circ - \beta_{11} = 1.2^\circ$$

$$z_{1U} = j3 + j0.5 + \frac{j3 \cdot j0.5}{(1.6 + j1.2)} = 4 / \underline{98.7^\circ}$$

$$\psi_{1U} = 90^\circ - \beta_{1U} = -8.7^\circ$$

$$\text{Fazni stav ems je: } \delta_{1U} = 56.56^\circ$$

Zamjenom poznatih podataka u sistem jednačina (\*) dobija se:

$$p_g = 1.025$$

$$q_g = 4.41$$

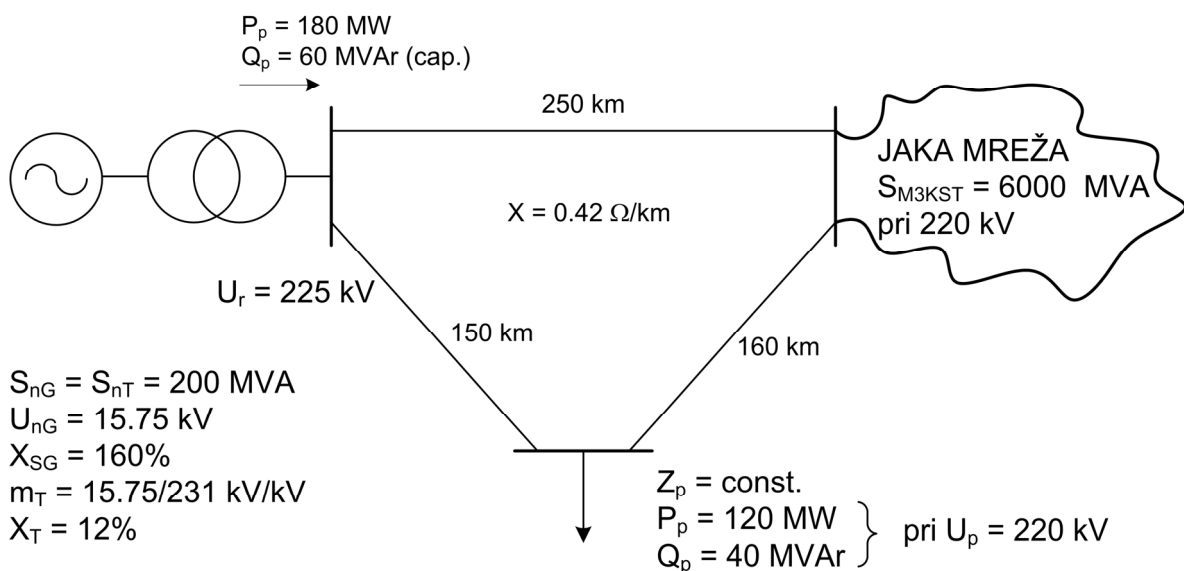
Posmatrajući sistem jednačina (\*\*\*) može se zaključiti da postoje dva načina određivanja  $P_s$ ,

$$P_s = \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U}) = \frac{4.069 \cdot 1}{4} \cos(56.56 + 8.7) = 0.426 > 0$$

$$P_s = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - Q = \frac{4.069^2}{3.423} \cos(1.2) - 4.41 = 0.426 > 0$$

Zaključuje se da je sistem statički stabilan.

2. Za dati trofazni jednofazno prikazani EES provjeriti statičku stabilnost generatora.



**Rješenje:**

$$X_{GT} = \frac{160 + 12 \frac{231^2}{200}}{100} = 459 \text{ } \Omega$$

$$X_{V1} = 0.42 \cdot 250 = 105 \text{ } \Omega$$

$$X_{V2} = 0.42 \cdot 150 = 63 \text{ } \Omega$$

$$X_{V3} = 0.42 \cdot 160 = 67.2 \text{ } \Omega$$

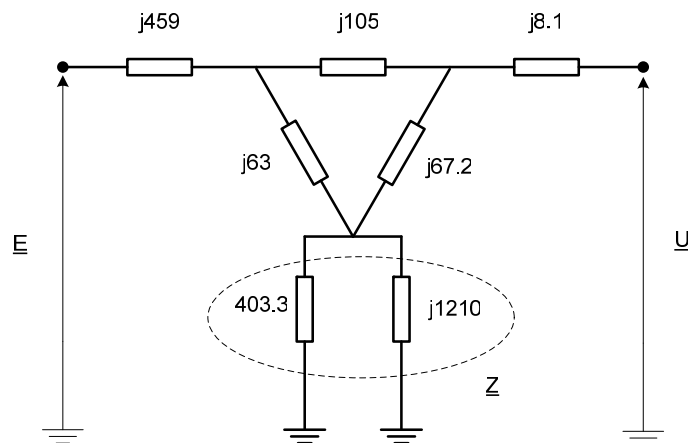
$$R_p = \frac{U_p^2}{P_p} = \frac{220^2}{120} = 403.3 \text{ } \Omega$$

$$X_p = \frac{U_p^2}{Q_p} = \frac{220^2}{40} = 1210 \text{ } \Omega$$

Jaka mreža se ovdje modeluje sa reaktansom,

$$X_M = \frac{U^2}{S_{M3KST}} = \frac{220^2}{6000} = 8.1 \Omega.$$

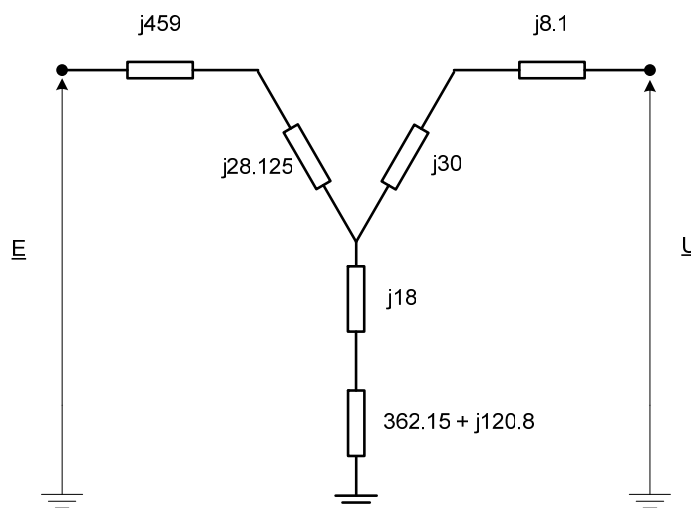
Zamjenska šema sistema je,



Da bi se provjerila statička stabilnost za ovaj sistem potrebno je provjeriti da li je  $P_s > 0$ . Kako je poznata snaga koju generator isporučuje mreži ( $Q = 60$  MVar cap.) najbolje je koristiti jednačinu:

$$P_s = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - Q_u \quad (*)$$

Ako se izvrši transfiguracija trougao-zvijeзда, šema postaje,



$$\underline{Z}_{11} = j459 + j28.125 + \frac{(j30 + j8.1)(j18 + 362.86 + j120.8)}{(j30 + j8.1 + j18 + 362.86 + j120.8)} = (3.2 + j523.5) \Omega$$

Kako je reaktivni dio impedanse  $\underline{Z}_{11}$  veliki u odnosu na aktivni onda se on može zanemariti, pa je onda,

$$\underline{Z}_{11} = j523.5 \Omega \quad \text{čime je } \psi_{11} = 90^\circ - 90^\circ = 0.$$

Na osnovu poznatog radnog napona iz postavke zadatka,

$$E = U_r + \frac{QX_{GT}}{U_r} + j\frac{PX_{GT}}{U_r} = 225 + \frac{(-60) \cdot 459}{225} + j\frac{180 \cdot 459}{225} = (102.6 + j367.2) = 381.4 / 74.4^\circ \text{ kV.}$$

U cilju provjere statičke stabilnosti, potrebno je odrediti i unutrašnju reaktivnu snagu generatora.

$$Q_u = Q_{sp} + \Delta Q$$

gdje su,

$Q_{sp}$  – spoljašnja snaga generatora (data zadatkom  $Q = 60 \text{ MVA}r \text{ cap.}$ )

$\Delta Q$  – gubitak snage u bloku generator-transformator (u reaktansi  $X_{GT}$ )

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_r^2} X_{GT} = \frac{180^2 + 60^2}{225^2} 459 = 326.4 \text{ MVA}r$$

$$Q_u = -60 + 326.4 = 266.4 \text{ MVA}r$$

Na kraju, zamjenom poznatih veličina u jednačinu (\*)

$$P_s = \frac{381.4^2}{523.5} \cdot 1 - 266.4 = 11.52 > 0$$

Zaključuje se da je generator statički stabilan.