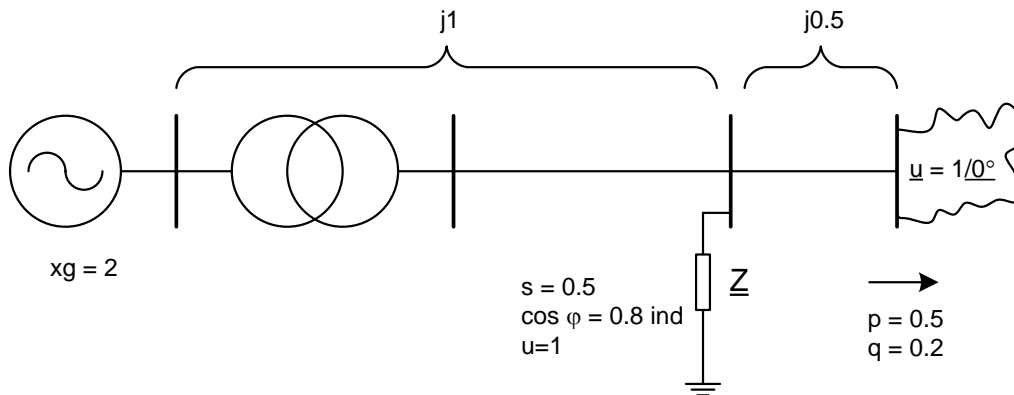


### Zadatak 9.

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



### Rješenje:

U slučaju višemašinskog sistema, unutrašnja aktivna i reaktivna snaga generatora se određuju kao:

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

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

gdje je  $\psi_{ij} = 90^\circ - \beta_{ij}$ , a  $\beta_{ij}$  je fazni stav impedanse  $Z_{ij}$ .

U slučaju jednomašinskog sistema (generator – mreža), prethodne relacije se svode na:

$$P = \frac{E^2}{Z_{11}} \sin \psi_{11} + \frac{EU}{Z_{1U}} \sin(\delta_{1U} - \psi_{1U})$$

$$Q = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U})$$

Da bi se provjerila statička stabilnost višemašinskog sistema potrebno je iskoristiti kriterijum sinhronizacionih koeficijenata:

$$P_{S_i} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{E_i E_j}{Z_{ij}} \cos(\delta_{ij} - \psi_{ij}) > 0$$

$$P_{S_i} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \psi_{ii} - Q > 0$$

koje se u slučaju jednomašinskog sistema svode na:

$$P_S = \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U}) > 0$$

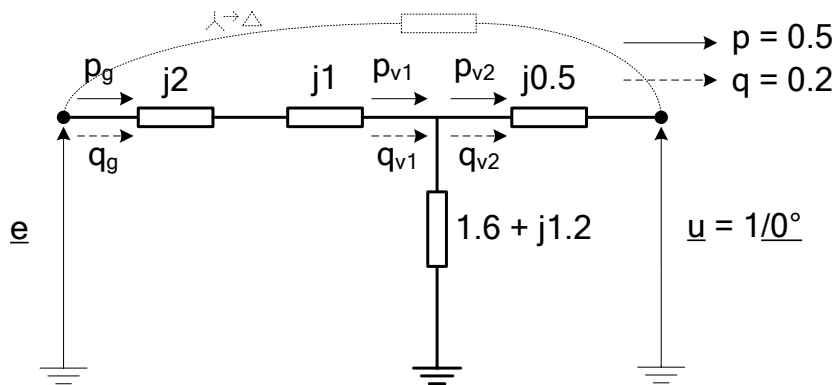
$$P_S = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - Q > 0$$

Dakle, da bi se primjenio kriterijum sinhronizacionih koeficijenata potrebno je odrediti unutrašnju elektromotornu silu generatora  $i$ , zavisno od relacije, sopstvenu impedansu  $\underline{Z}_{11}$ , transfer impedansu  $\underline{Z}_{1U}$  i unutrašnju reaktivnu snagu generatora.

Dok su parametri generatora, transformatora i vodova definisani postavkom, impedansu potrošača je neophodno odrediti na osnovu nominalnih parametara:

$$\underline{Z}_P = \frac{u^2}{\underline{S}_P^*} = \frac{u^2}{S} \cos \varphi + j \frac{u^2}{S} \sin \varphi = 1.6 + j1.2 = 2[36.87^\circ]$$

Tada je zamjenska šema posmatranog sistema:



Uz poznatu uslove na sabirnicama jake mreže, napon na sabirnicama potrošača se određuje kao:

$$\underline{u}_P = 1 + \frac{0.5 \cdot 0 + 0.2 \cdot 0.5}{1} + j \frac{0.5 \cdot 0.5 - 0.2 \cdot 0}{1} = 1.1 + j0.25 = 1.128[12.8^\circ]$$

Tada je snaga potrošača:

$$\underline{S}_P = \frac{u_P^2}{\underline{Z}_P^*} = \frac{1.128^2}{1.6 - j1.2} = 0.51 + j0.38$$

Aktivni gubici na vodu V2 su jednaki nuli, dok se reaktivni određuju kao:

$$\Delta q_{V2} = 0.5 \frac{0.5^2 + 0.2^2}{1^2} = 0.145$$

Tada su aktivna i reaktivna snaga na početku voda V2:

$$p_{V2} = 0.5$$

$$q_{V2} = 0.345$$

pa je snaga na kraju voda V1:

$$\begin{aligned} p_{V1} &= p_{V2} + p_P = 1.01 \\ q_{V1} &= q_{V2} + q_P = 0.725 \end{aligned}$$

Sada je elektromotorna sila generatora:

$$\underline{e} = u_P + \frac{q_{V1}(x_G + x_{V1})}{u_P} + j \frac{p_{V1}(x_G + x_{V1})}{u_P} = 4.069[41.3^\circ]$$

Iz jednačine se vidi da je elektromotorna sila određena u odnosu na napon potrošača po faznoj osi, pa je potrebno izvršiti korekciju faznog stava elektromotorne sile i odrediti ga u odnosu na napon jake mreže. Ovo se ostvaruje tako što se dobijenom faznom stavu doda fazni stav napona potrošača u odnosu na napon jake mreže:

$$\delta_{1U} = 41.3^\circ + 12.8^\circ = 54.1^\circ$$

Za primjenu kriterijuma sinhronizacionih koeficijenata neophodno je odrediti sopstvenu i transfer impedansu između generatora i jake mreže:

$$\underline{z}_{11} = j2 + j1 + \frac{j0.5(1.6 + j1.2)}{j0.5 + 1.6 + j1.2} = 3.423[88.8^\circ]$$

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

$$\underline{z}_{1U} = j3 + j0.5 + \frac{j3 \cdot j0.5}{1.6 + j1.2} = 4[98.7^\circ]$$

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

Zamjenom poznatih podataka u relacije za jednomašinski sistem određuju se unutrašnja aktivna i reaktivna snaga generatora:

$$P = \frac{E^2}{Z_{11}} \sin \psi_{11} + \frac{EU}{Z_{1U}} \sin(\delta_{1U} - \psi_{1U}) = 1.025$$

$$Q = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U}) = 4.41$$

Sa druge strane, sinhronizacioni koeficijent se tada određuje kao:

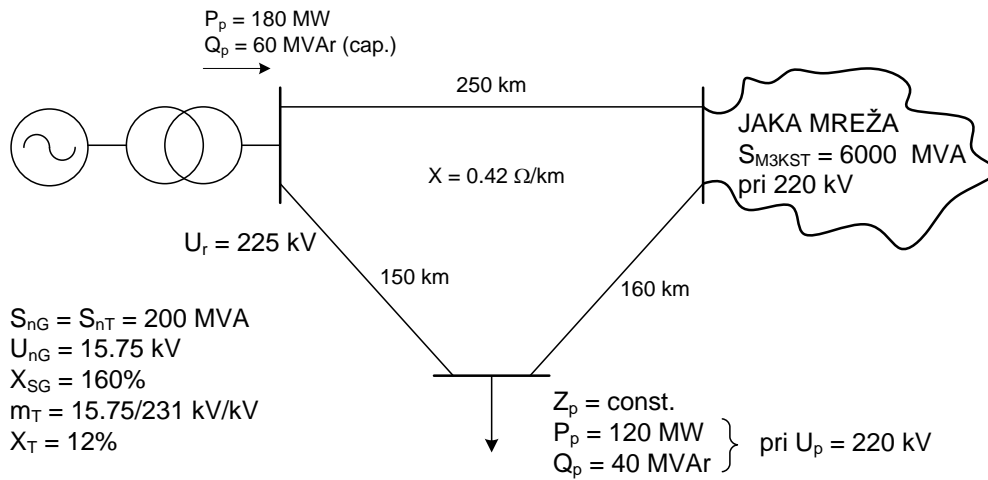
$$P_S = \frac{EU}{Z_{1U}} \cos(\delta_{1U} - \psi_{1U}) = 0.426 > 0$$

$$P_S = \frac{E_i^2}{Z_{ii}} \cos \psi_{ii} - Q = 0.426 > 0$$

Zaključuje se da je sistem statički stabilan.

### Zadatak 10.

Za dati trofazni jednopolno prikazani EES provjeriti statičku stabilnost generatora.



### Rješenje:

Parametri zamjenske šeme, svedeni na naponski nivo jake mreže su:

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

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

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

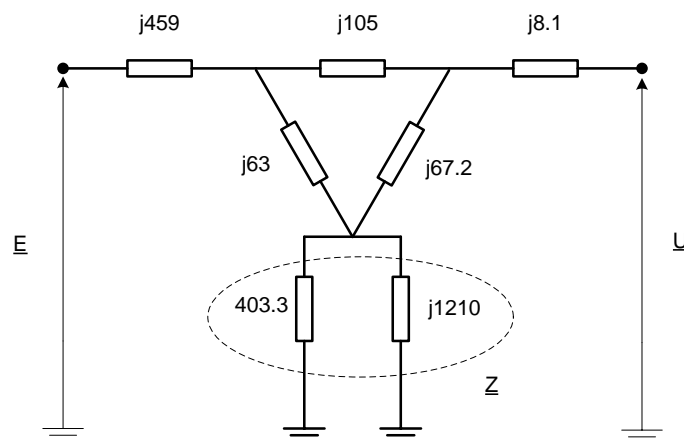
$$X_{V3} = 0.42 \cdot 160 = 67.2 \Omega$$

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

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

$$X_M = \frac{220^2}{6000} = 8.1 \Omega$$

Zamjenska šema sistema je tada:



Da bi se provjerila statička stabilnost potrebno je provjeriti da li je sinhronizacioni koeficijent veći od nule. Kako su poznati uslovi na sabirnicama bloka generator-transformator, to je povoljnije koristiti relaciju:

$$P_S = \frac{E^2}{Z_{11}} \cos \psi_{11} - Q_u$$

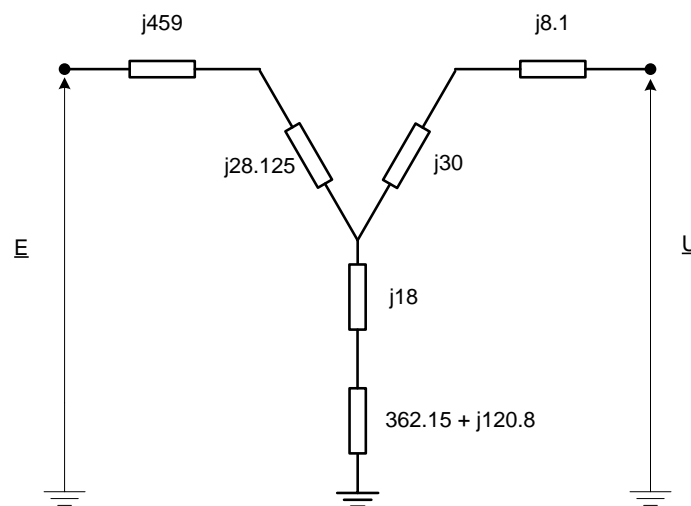
Elektromotorna sila generatora je:

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

dok je unutrašnja reaktivna snaga generatora:

$$Q_u = Q + X_{GT} \frac{P^2 + Q^2}{U_r^2} = -60 + 459 \frac{180^2 + 60^2}{225^2} = 266.4 \text{ MVar}$$

Preostalo je još odrediti sopstvenu impedansu  $\underline{Z}_{11}$  što je najlakše transfiguracijom trougla u zvijezdu:



nakon čega je transfer impedansa:

$$\underline{Z}_{11} = j459 + j28.125 + \frac{(j30 + j8.1)(j18 + 362.15 + j120.8)}{(j30 + j8.1 + j18 + 362.15 + j120.8)} = (3.2 + j523.5) \Omega$$

Kako je aktivni dio sopstvene impedanse zanemarljiv u odnosu na reaktivni to je:

$$\underline{Z}_{11} = j523.5 \Omega$$

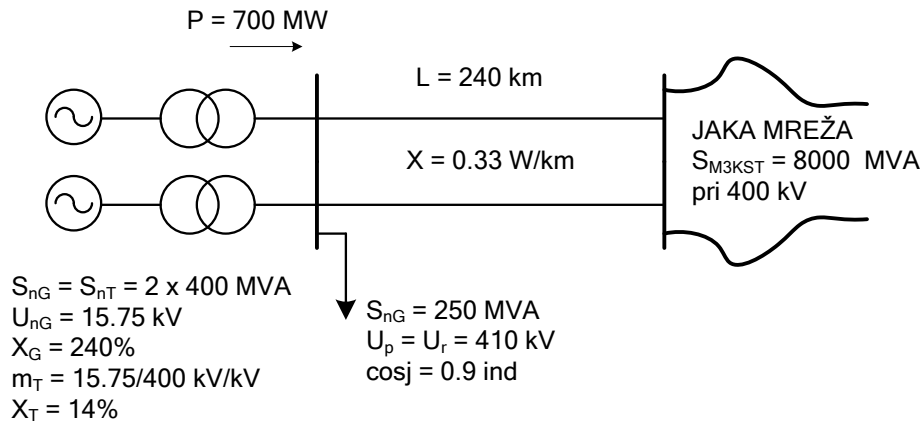
pa je  $\psi_{11} = 0^\circ$ .

Na kraju, zaključuje se da je sistem statički stabilan kako je sinhronizacioni koeficijent veći od nule:

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

### Zadatak 11.

Za dati trofazni jednopolno prikazani EES izračunati do koje i kakve (induktivne ili kapacitivne) reaktivne (spoljne) snage  $Q$  mogu da rade statički stabilno ravnomjerno opterećeni GTR blokovi koji na sabirnice 1 odaju ukupnu aktivnu snagu od  $700 \text{ MW}$ . Jaka mreža se može zamjeniti reaktansom izračunatom iz udjela te mreže u trajnoj snazi trolpnog kratkog spoja na sabirnicama jake mreže i konstantnim naponom iza te reaktanse.



### Rješenje:

Najprije, potrebno je proračunati parametre zamjenske šeme:

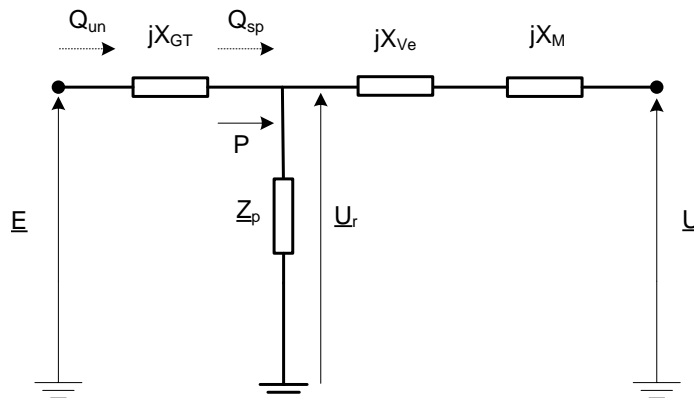
$$X_{GT} = \frac{240 + 14 \frac{400^2}{100 \cdot 800}}{0.33 \cdot 240} = 508 \Omega$$

$$X_{Ve} = \frac{2}{2} = 39.6 \Omega$$

$$X_M = \frac{400^2}{8000} = 20 \Omega$$

$$\underline{Z}_P = \frac{410^2}{250(0.9 - j0.436)} = (605.16 + j293) \Omega$$

Sada je zamjenska šema sistema:



Kako je potrebno pronaći opseg statički stabilnog rada s aspekta reaktivne snage, potrebno je provjeriti kriterijum statičke stabilnosti primjenom jednačine:

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

Sopstvena impedansa  $\underline{Z}_{11}$  se određuje kao:

$$\underline{Z}_{11} = jX_{GT} + \frac{\underline{Z}_P(jX_{Ve} + jX_M)}{\underline{Z}_P + jX_{Ve} + jX_M} = 4.4 + j565 \approx j565 \Omega$$

pa je  $\psi_{11} = 0^\circ$ .

Cilj je jednačinu sinhronizacionih koeficijenata izraziti u funkciji nepoznate spoljašnje reaktivne snage  $Q_{sp}$  što se može uraditi ako se  $E^2$  predstavi kao:

$$E^2 = \left( U_r + \frac{Q_{sp} X_{GT}}{U_r} \right)^2 + \left( \frac{P_{sp} X_{GT}}{U_r} \right)^2$$

a unutrašnja reaktivna snaga kao:

$$Q_u = Q_{sp} + X_{GT} \frac{P_{sp}^2 + Q_{sp}^2}{U_r^2}$$

Sada je jednačina sinhronizacionih koeficijenata oblika:

$$P_S = \frac{1}{Z_{11}} \left( \left( U_r + \frac{Q_{sp} X_{GT}}{U_r} \right)^2 + \left( \frac{P_{sp} X_{GT}}{U_r} \right)^2 \right) \cdot 1 - \left( Q_{sp} + X_{GT} \frac{P_{sp}^2 + Q_{sp}^2}{U_r^2} \right) > 0$$

kada se, nakon zamjene brojnih vrijednosti, svodi na:

$$-Q_{sp}^2 + 2618.2Q_{sp} + 485881 > 0$$

Rješavanjem ove nejednačine dobija se da je skup rješenja interval od **-174 MVar** do **2782 MVar**. Kako je nominalna snaga oba generatora **800 MVA**, lako je zaključiti da ne mogu dati **2782 MVar** pa se onda kaže da ne postoji gornje ograničenje za odatu reaktivnu snagu (tj. generatori mogu isporučivati u mrežu bilo koliku vrijednost reaktivne snage induktivnog karaktera). Sa druge strane, generatori iz mreže ne smiju uzimati reaktivnu snagu veću od **174 MVar**.