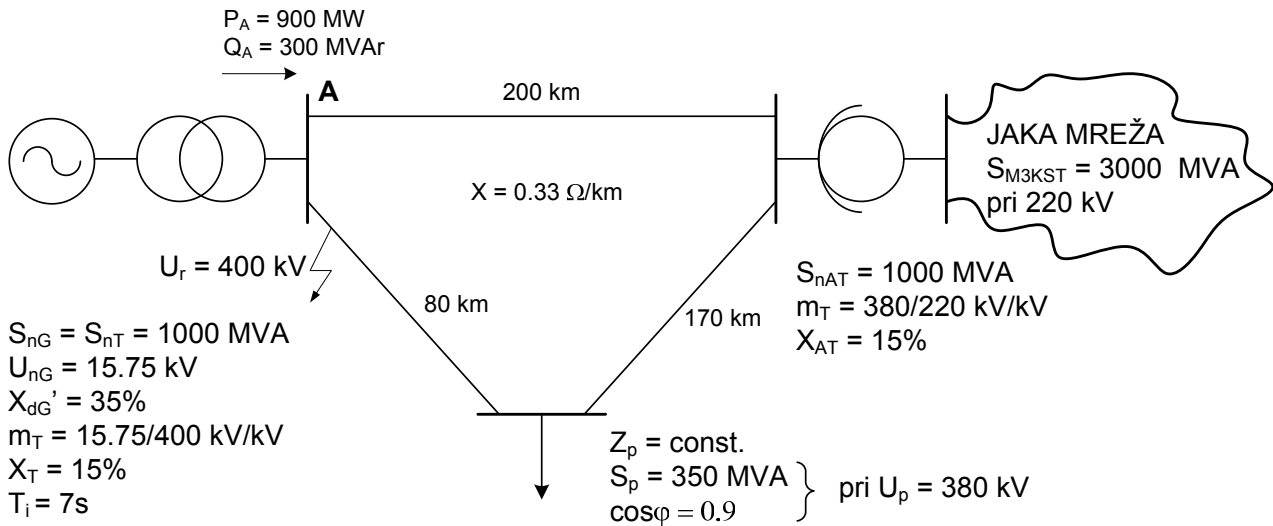


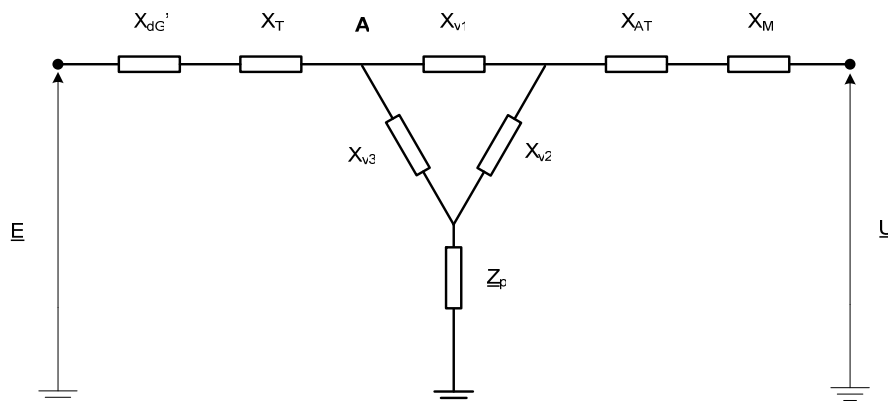
5. Da li je zadati trofazni sistem jednopolno prikazan, dinamički stabilan za slučaj 3KS na početku voda od 80 km, koji se simultano isključuje na oba kraja poslije $t = 0.12s$, ako se 220 kV-na jaka mreža može zamjeniti reaktansom dobijenom iz udjela ove mreže u tranzijentnoj snazi trolnog KS i konstantnim naponom.



Rješenje:

Kako bi se provjerila dinamička (tranzijentna) stabilnost potrebno je posmatrati sva tri radna režima u kojima režim radi:

1° normalni režim



$$X_{GT} = \frac{35 + 15 \frac{400^2}{1000}}{1000} = 80 \Omega$$

$$X_{V1} = 66 \Omega \quad X_{V2} = 56.1 \Omega \quad X_{V3} = 26.4 \Omega$$

$$X_{AT} = \frac{15 \frac{380^2}{1000}}{1000} = 21.7 \Omega$$

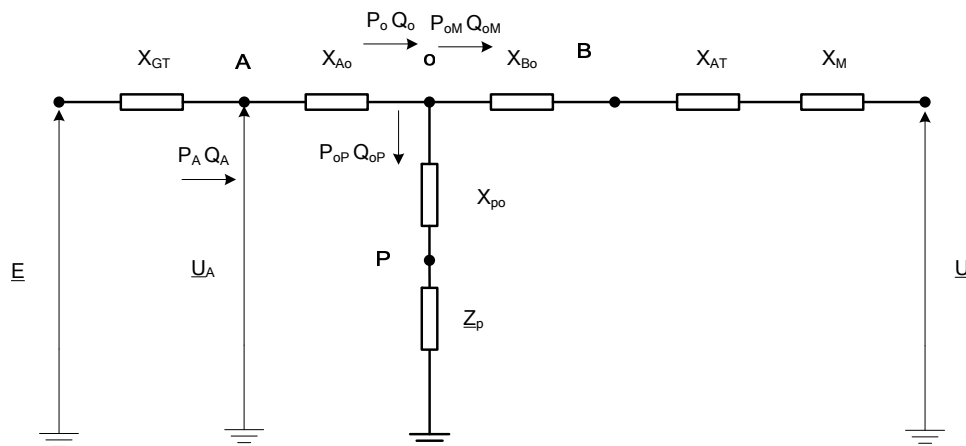
$$X_M = \frac{U^2}{S_{M3KST}} m_{AT}^2 = \frac{220^2}{3000} \left(\frac{380^2}{220^2} \right) = 48.13 \Omega$$

$$Z_p = \frac{U_p^2}{S_p} (\cos \varphi + j \sin \varphi) = \frac{380^2}{350} (0.9 + j0.436) = (372 + j180) \Omega$$

Potrebno je naći izraz za unutrašnju snagu generatora, polazeći od:

$$P_g = \frac{E^2}{Z_{gg}} \sin \psi_{11} + \frac{EU_{mr}}{Z_{gmr}} \sin(\delta_{gmr} - \psi_{gmr}).$$

Na početku, potrebno je transfigurirati trougao impedansi u zvijezdu:



$$X_{Ao} = \frac{66 \cdot 26.4}{66 + 26.4 + 56.1} = 12.23 \Omega$$

$$X_{Bo} = 25.98 \Omega$$

$$X_{Bo} = 10.39 \Omega$$

$$\underline{E} = U_A + \frac{Q_A X_{GT}}{U_A} + j \frac{P_A X_{GT}}{U_A} = 460 + j180 = 493.96 / 21.37^\circ \text{ kV}$$

Međutim, ugao koji je dobijen je računat u odnosu na napon u tački A, a potrebno je poznavati ugao u odnosu na napon jake mreže. Da bi se to odredilo potrebno je prvo naći napon u tački O.

$$\underline{U}_o = U_A - \frac{Q_A X_{Ao}}{U_A} - j \frac{P_A X_{Ao}}{U_A} = \dots = 391.8 / -4.03^\circ \text{ kV}$$

Gubitak snage u grani Ao je:

$$\Delta P_{Ao} = 0$$

$$\Delta Q_{Ao} = \frac{P_A^2 + Q_A^2}{U_A^2} X_{Ao} = 68.79375 \text{ MVar}$$

Sada su snage,

$$P_o = P_A = 900 \text{ MW}$$

$$Q_o = Q_A - \Delta Q_{A0} = 231.2 \text{ MVAr}$$

$$\underline{Z} = \underline{Z}_p + jX_{po} = 372 + j180 + j10.39 = 372 + j190.39 = 417.89 / 27.1^\circ \Omega$$

a snaga koju traži je

$$S_{op} = \sqrt{3} U_o \frac{U_o^*}{\sqrt{3} Z^*} = 367.34 / 27.1^\circ \text{ MVA}$$

$$P_{oM} = P_o - P_{op} = 900 - 327 = 573 \text{ MW}$$

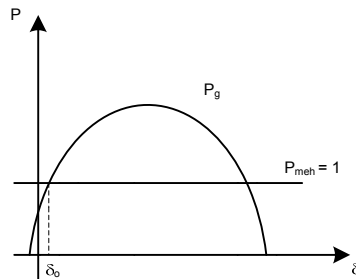
$$Q_{oM} = Q_o - Q_{op} = 231.2 - 167.34 = 63.86 \text{ MVAr}$$

$$X_{oM} = X_{Bo} + X_{AT} + X_M = 84.22 \Omega$$

$$\underline{U}_M = U_o - \frac{Q_{oM} X_{oM}}{U_o} - j \frac{P_{oM} X_{oM}}{U_o} = \dots = 397.64 / -18.04^\circ \text{ kV kada je } \underline{U}_o \text{ po faznoj osi.}$$

$$\delta_{gmr} = 21.37 + 4.03 + 18.04 = 43.44^\circ = 0.758 \text{ rad}$$

Kako se u ovom slučaju ne zanemaruje aktivni otpor u mreži, zavisnost snaga-ugao će imati oblik

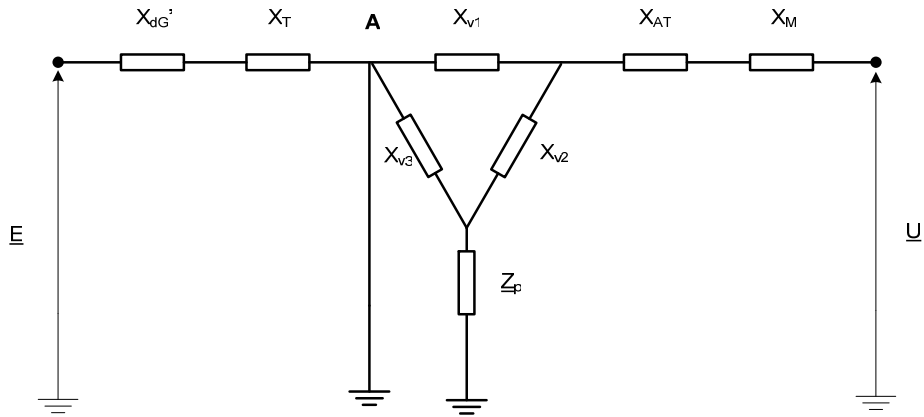


jer postoje oba člana u relaciji,

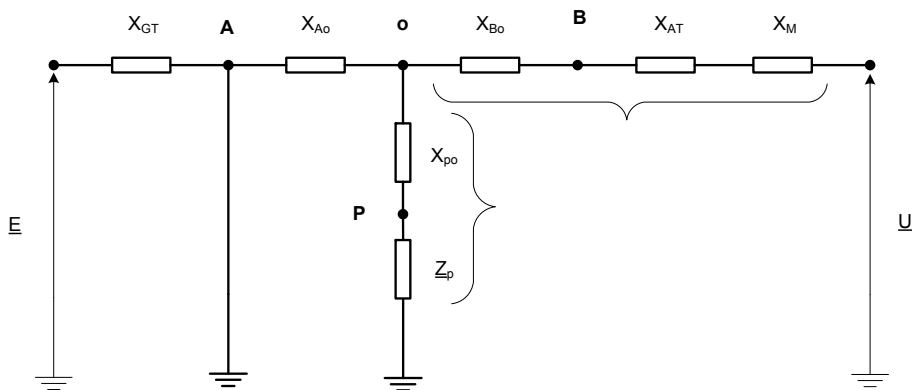
$$P_g = \frac{E^2}{Z_{gg}} \sin \psi_{11} + \frac{EU_{mr}}{Z_{gmr}} \sin(\delta_{gmr} - \psi_{gmr}).$$

2° havarijski režim

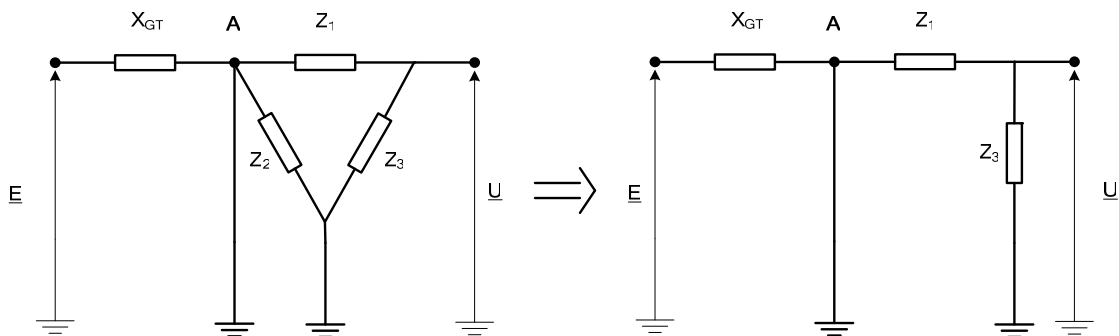
Na sabirnicama A desio se 3KS, pa je šema



Nakon transfiguracije trougao-zvijezda dolazi se do



nakon sada, transfiguracije zvijezda-trougao, šema je:



Kao što se vidi sa slike, daljom transfiguracijom zvijezde u trougao dobila bi se Z_{gmr} .

$$Z_{gmr} = jX_{GT} + Z_1 + \frac{jX_{GT} \cdot Z_1}{0} = \infty$$

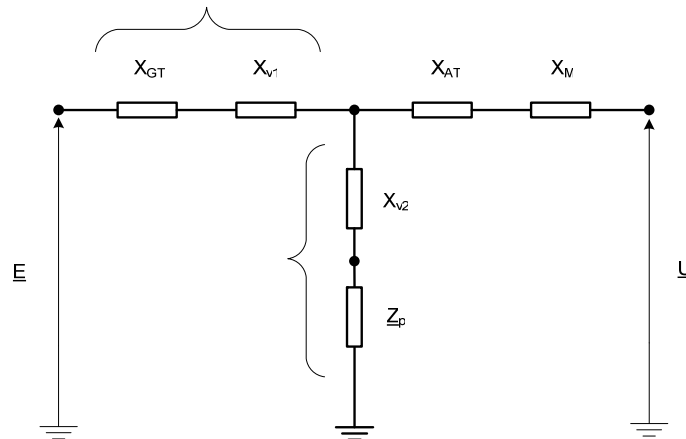
$$Z_{gg} = jX_{GT}$$

$$\psi_{gg} = 0^\circ$$

Sada se iz jednačine za unutrašnju snagu generatora sa početka zaključuje da je $P_{gk} = 0$. Dakle, u režimu kvara, nema prenosa snage od generatora ka mreži.

3° režim isključenja kvara – posthavarijski

Kao što je rečeno u zadatku, nakon kvara isključuje se vod pogođen kvarom, pa je šema:



Kako bi se odredila kriva snaga-ugao, potrebno je odrediti \underline{Z}_{ggi} i \underline{Z}_{gmri} u ovom režimu,

$$\underline{Z} = 372 + j236.1$$

$$\underline{Z}_{ggi} = j80 + j66 + \frac{j58.23 \cdot \underline{Z}}{j58.23 + \underline{Z}} = 199.6 / 88.4^\circ \Omega \quad \psi_{ggi} = 1.6^\circ$$

$$\underline{Z}_{gmri} = (j80 + j66) + j58.23 + \frac{(j80 + j66) \cdot j58.23}{\underline{Z}} = 215 / 94.35^\circ \Omega \quad \psi_{gmri} = -4.35^\circ$$

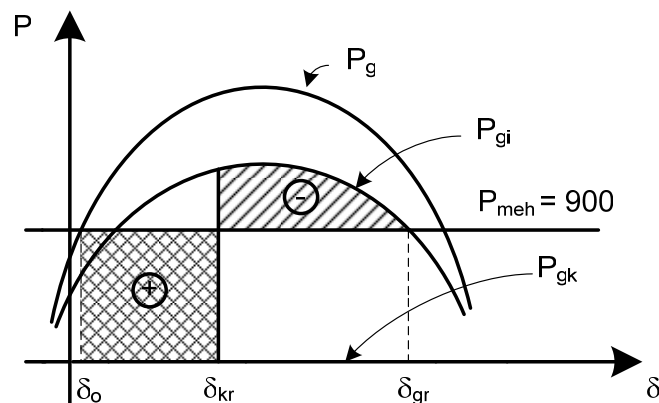
Sada je unutrašnja snaga,

$$P_g = \frac{493.96^2}{199.6} \sin(1.6^\circ) + \frac{493.96 \cdot 397.64}{215} \sin(\delta_{gmr} + 4.35^\circ) = 34.13 + 913.57 \sin(\delta_{gmr} + 4.35^\circ)$$

$$34.13 + 913.57 \sin(\delta_{gmr} + 4.35^\circ) = 900$$

$$\delta_{gmr} = 67^\circ \text{ odavde slijedi da je granični ugao } \delta_{gr} = 180 - 67 = 113^\circ = 1.971 \text{ rad}$$

Sada je potrebno formirati grafički prikaz krivih ugao-snaga za svaki režim rada:



Kritični ugao se određuje iz jednakosti pomenutih površina, dakle

$$P_+ = P_-$$

$$\int_{\delta_o}^{\delta_{kr}} P_A d\delta = \int_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} (P_{gi} - P_A) d\delta$$

$$900 \cdot \delta \Big|_{\delta_o}^{\delta_{kr}} = \int_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} (34.13 + 913.57 \sin(\delta_{gmr} + 4.35^\circ) - 900) d\delta$$

$$900\delta_{kr} - 682.2 = 865.87\delta_{kr} + 913.57 \cos(\delta_{kr} + 0.0076) + 1287.83$$

$$\cos(\delta_{kr} + 0.0076) - 0.037\delta_{kr} - 0.663 = 0$$

$$\delta_{kr} = 0.735 \text{ rad}$$

Uočava se da je dobijeni kritični ugao manji od $\delta_{gmr} = \delta_o$ pa je zaključak da sistem nije dinamički stabilan.

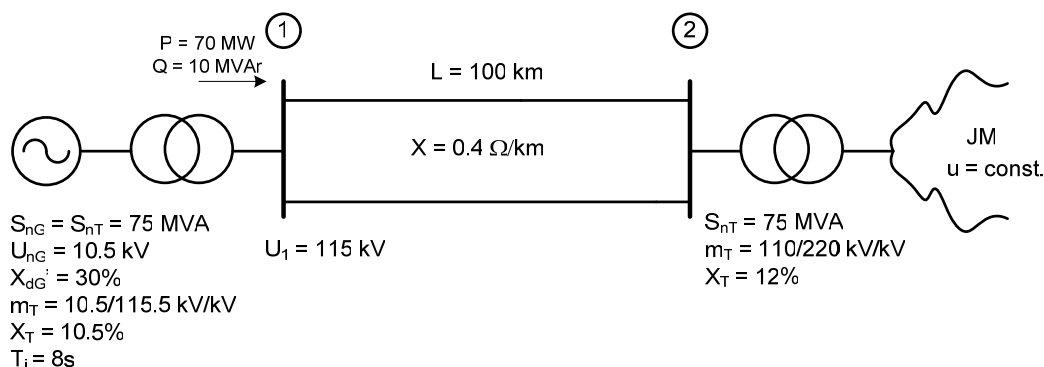
To se može provjeriti i na drugi način:

$$t_i = \sqrt{\frac{T_i S_{ng} (\delta_i - \delta_o)}{9000 P_{meh}}} \text{ izraz za vrijeme isključenja kvara ("prelazak" iz havarijskog u posthavarijski režim).}$$

$$0.12 = \sqrt{\frac{7 \cdot 1000 (\delta_i - 43.44^\circ)}{9000 \cdot 900}} \Rightarrow \delta_i = 60.1^\circ = 1.0484 \text{ rad}$$

Provjerom jednakosti $P_+ = P_-$ dolazi se do zaključka da je $P_+ > P_-$ i konstatuje da sistem nije dinamički stabilan ($P_+ = 261.36$ a $P_- = 17.83$).

6. U sistemu koji je jednopolno prikazan na slici, jednovremeno se isključuju (bez prethodnog kvara) oba voda. Odrediti maksimalno vrijeme poslije koga treba ponovo uključiti oba voda da bi elektrana bila dinamički stabilna.



Rješenje:

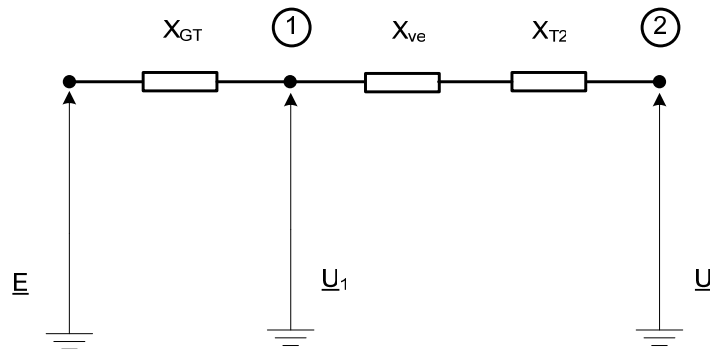
$$X_{GT} = \frac{30 + 10.5}{100} \frac{115.5^2}{75} = 72 \Omega$$

$$X_{Ve} = \frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot 100 = 20 \Omega$$

$$X_{T2} = \frac{12}{100} \frac{110^2}{75} = 19.36 \Omega$$

Kako bi provjerili dinamičku stabilnost elektrane potrebno je posmatrati sve režime u kojima radi sistem.

1° normalni režim



Na početku, potrebno je izračunati ems generatora:

$$\underline{E} = U_1 + \frac{QX_{GT}}{U_1} + j \frac{PX_{GT}}{U_1} = 129 / 19.87^\circ \text{ kV}$$

a napon beskonačno jake mreže

$$\underline{U} = U_1 - \frac{Q(X_{Ve} + X_{T2})}{U_1} - j \frac{P(X_{Ve} + X_{T2})}{U_1} = 114 / -12.12^\circ \text{ kV}$$

Sada je ugao $\delta_{gmr} = \delta_o = 19.87 + 12.12 = 31.99^\circ = 0.56 \text{ rad}$. Time je kriva snaga-ugao:

$$P_g = \frac{129 \cdot 114}{111.36} \sin \delta = 132 \sin \delta$$

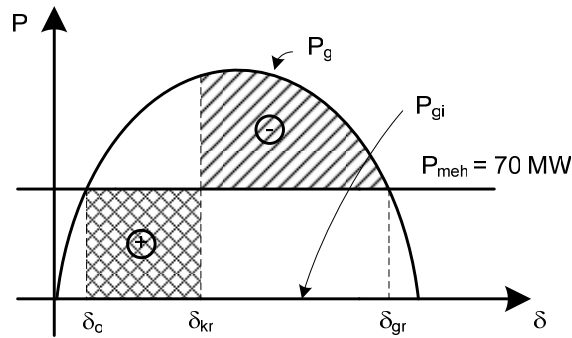
2° režim isključenja oba voda

Kako su oba voda isključena, prenos snage nije uspostavljen pa je $P_{gi} = 0$.

3° režim uključenja oba voda = normalni režim

Nakon uključenja oba voda, sistem se vraće u konfiguraciju iz normalnog režima.

Primjenivši kriterijum jednakih površina radi određivanja kritičnog ugla (time i kritičnog vremena isključenja) dolazi se do grafika,



$$\delta_{gr} = 180 - 31.99 = 148.01^\circ = 2.58 \text{ rad}$$

Sada izjednačavanjem površina

$$P_+ = P_-$$

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{kr}} P_{meh} d\delta = \int_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} (P_g - P_{meh}) d\delta$$

$$P_{meh} \cdot \delta \Big|_{\delta_0}^{\delta_{kr}} = \int_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} (132 \sin \delta - 70) d\delta$$

$$\cos \delta_{kr} = 0.225$$

$$\delta_{kr} = 77^\circ$$

Primjenom jednačine za kritično vrijeme isključenja kvara

$$t_{ikr} = \sqrt{\frac{T_i S_{ng} (\delta_{kr} - \delta_0)}{9000 P_{meh}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 75 (77 - 31.99)}{9000 \cdot 70}} = 0.207 \text{ s}$$

Zaključuje se da ukoliko vrijeme koje protekne do ponovnog uključanja voda bude manje ili jednako od proračunate vrijednosti 0.207s, sistem će biti dinamički stabilan.