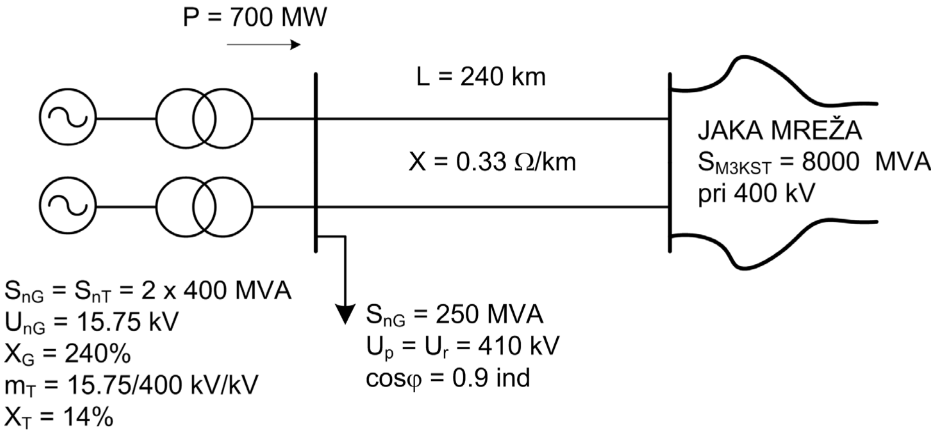
3. Za dati trofazni jednopolno prikazani EES izračunati do koje i kakve (induktivne ili kapacitvne) reaktivne (spoljne) snage Q mogu da rade statički stabilno ravnomjerno opterećeni GTR blokovi koji na sabirnice 1 odaju ukupnu snagu P = 700 MW, ako se jaka mreža na kraju može zamjeniti reaktansom izračunatom iz udjela te mreže u trajnoj snazi tropolnog kratkog spoja na sabirnicama 2 i konstantnim naponom iza te reaktanse.



Rješenje:

Najprije, potrebno je proračunati parametre zamjenske šeme,

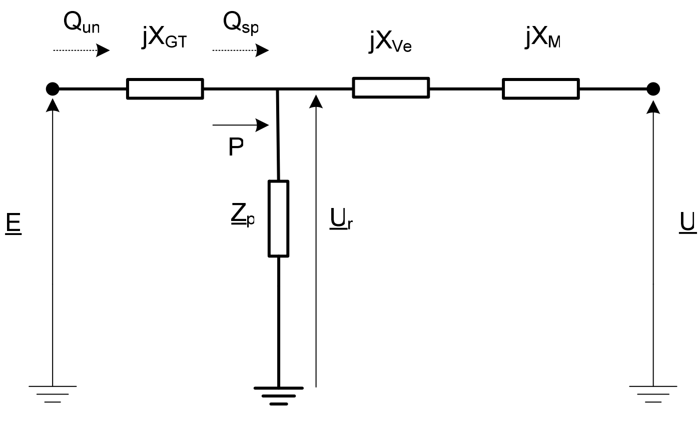
$$X_{GT} = \frac{240+14}{100}\frac{400^2}{2\cdot 400} = 508\,\Omega$$

$$X_{Ve} = \frac{0.33\cdot 240}{2} = 39.6\ \Omega \text{ - paralelna veza dva voda}$$

$$X_M = \frac{U^2}{S_{M3KST}} = \frac{400^2}{8000} = 20\ \Omega$$

$$Z_p = \frac{U_p{}^2}{S_p}\left(\cos\varphi + j\sin\varphi\right) = \frac{410^2}{250}\left(0.9 + j0.436\right) = 605.16 + j293\ \Omega$$

Sada je zamjenska šema:



Kako je potrebno pronaći opseg statički stabilnog rada s aspekta reaktivne snage, potrebno je provjeriti kriterijum statičke stabilnosti prema jednačini,

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

Koristi se baš ovaj oblik jednačine koja određuje P_S jer je potrebno ispitati stabilnost u funkciji od reaktivne snage.

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

pa je $\psi_{11} = 90 - \beta_{11} = 0°$

Kako je uslov statičke stabilnosti $P_S > 0$, cilj je jednačinu (*) izraziti u funkciji od nepoznate Q_{sp} što se može uraditi ako se E^2 predstavi kao,

$$E^2 = \left(U_r + \frac{Q_{sp}X_{GT}}{U_r}\right)^2 + \left(\frac{PX_{GT}}{U_r}\right)^2$$, a unutrašnja reaktivna snaga kao

$$Q_{un} = Q_{sp} + \frac{P^2 + Q_{sp}^{\ 2}}{U_r^{\ 2}} X_{GT}$$

Sada je,

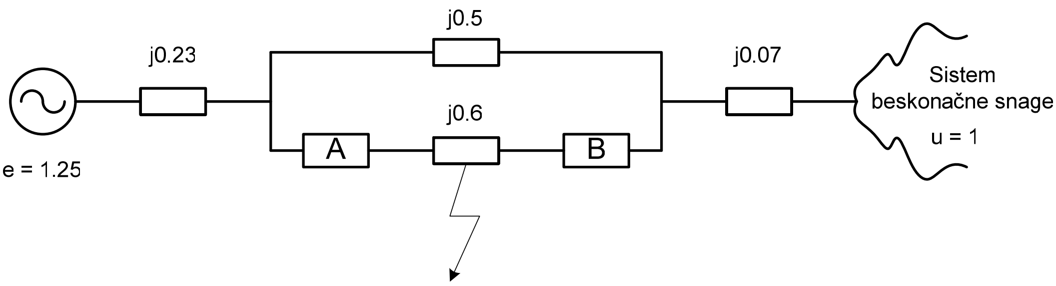
$$P_S = \frac{1}{Z_{11}}\left(\left(U_r + \frac{Q_{sp}X_{GT}}{U_r}\right)^2 + \left(\frac{PX_{GT}}{U_r}\right)^2\right)\cdot 1 - \left(Q_{sp} + \frac{P^2 + Q_{sp}^{\ 2}}{U_r^{\ 2}} X_{GT}\right) > 0$$

kada se zamjene brojne vrijednosti, dobija se kvadratna nejednačina

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

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, radiće statički stabilno).

4. Zamjenska šema sistema sa parametrima u relativnim jedinicama data je na slici. Na sredini voda, između prekidača A i B nastao je 3KS. Jedinična aktivna snaga generatora prije kvara, iznosila je 1 r.j. Primjenom metoda jednakih površina, odrediti kritični ugao δ_{kr} koji određuje granicu stabilnosti.



Rješenje:

Metod jednakih površina koristi se za provjeru tranzijentne stabilnosti. Za njenu primjenu od najvećeg značaja je jednačina za unutrašnju snagu generatora,

$$P_{\mathrm{g}}=\frac{\mathrm{E}^2}{\mathrm{Z}_{\mathrm{gg}}}\sin\psi_{11}+\frac{\mathrm{EU}_{\mathrm{mr}}}{\mathrm{Z}_{\mathrm{gmr}}}\sin\left(\delta_{gmr}-\psi_{gmr}\right).$$

Kako je čitava mreža reaktivna (sastavljena od reaktansi) zaključuje se da važi

$\psi_{\mathrm{gg}}=90-\beta_{gg}=0°\ \ i\ \ \psi_{\mathrm{gmr}}=90-\beta_{gmr}=0°$ pa je

$$P_{\mathrm{g}}=\frac{\mathrm{E}^2}{\mathrm{Z}_{\mathrm{gg}}}\sin\psi_{11}+\frac{\mathrm{EU}_{\mathrm{mr}}}{\mathrm{Z}_{\mathrm{gmr}}}\sin\left(\delta_{gmr}-\psi_{gmr}\right)=\frac{\mathrm{EU}_{\mathrm{mr}}}{\mathrm{Z}_{\mathrm{gmr}}}\sin\delta_{gmr}$$

Sa šeme je

$$\mathrm{Z}_{\mathrm{gmr}}=j0.23+\frac{j0.5\cdot j0.6}{j0.5+j0.6}+j0.07=j0.573\,.$$

Kako bi se na pravi način primjenila metoda jednakih površina potrebno je razlikovati tri radna režima u kojima se u ovom slučaju može nalaziti EES, a to su:

- *normalni režim* (režim neposredno prije kvara u kome je sistem radio stabilno),
- *havarijski režim* (režim nakon dešavanja kvara koji traje sve dok zaštita ne reaguje) i
- *posthavarijski režim* (režim nakon reagovanja zaštite, kada je kvarom pogođeni element isključen iz sistema).

Svaki od ovih režima karakteriše odgovarajuća kriva snaga-ugao koje je potrebno odrediti kako bi se uspješno primjenio metod jednakih površina.

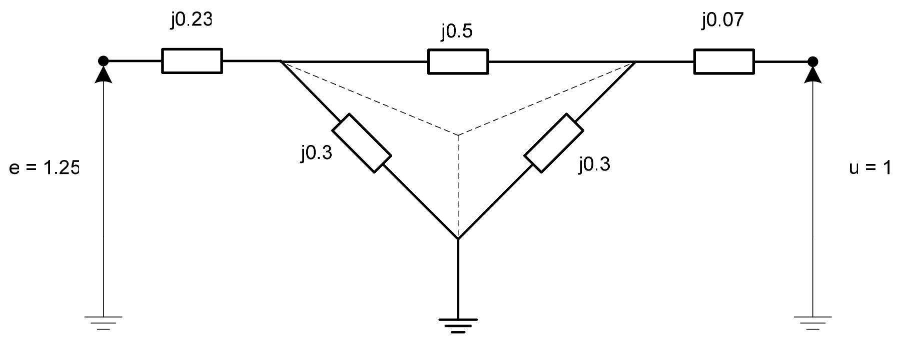
1° <u>normalni režim</u>

Zamjenska šema sistema u normalnom režimu je data zadatkom, a na osnovu jednačine (*) dobija se kriva snaga-ugao oblika

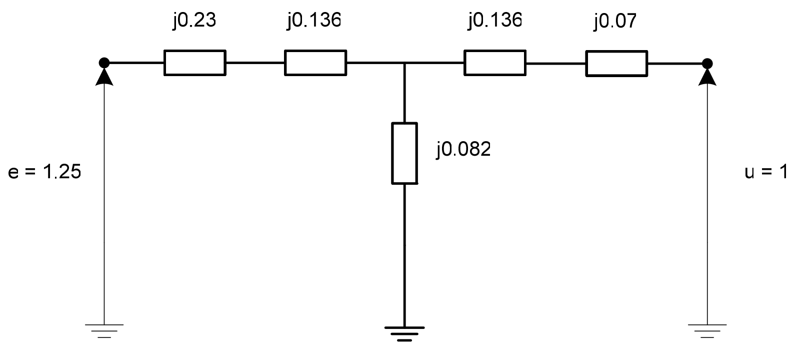
$$\boxed{P_g = \frac{1.25 \cdot 1}{0.573} \sin \delta_{gmr} = 2.18 \sin \delta_{gmr}}$$

2° <u>havarijski režim</u>

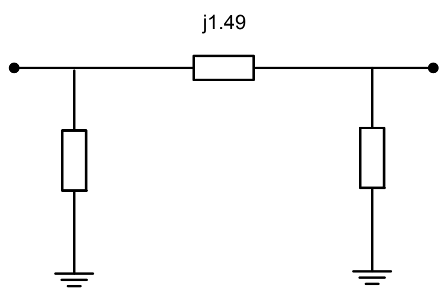
Zamjenska šema havarijskog sistema je



Treba primjetiti da, pošto je kvar 3KS na sredini voda, impedansa voda se dijeli na dva jednaka dijela. Takođe, uočava se trougao impedansi koji je potrebno transfigurisati u zvijezdu kako bi se odredila tražena impedansa Z_{gmr} u ovom režimu.



Daljom transformacijom šeme (zvijezda - trougao) dolazi se do

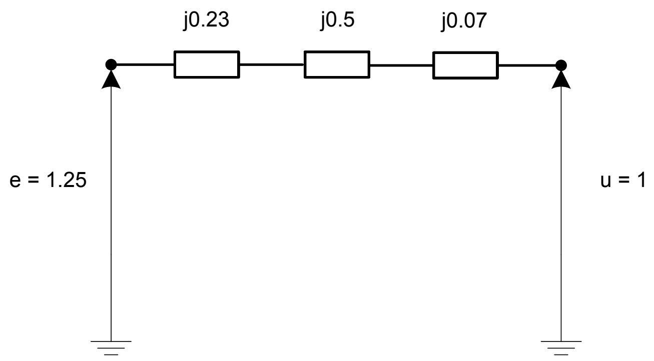


odakle je lako uočiti $Z_{gmr} = j1.49$ u ovom režimu, pa je kriva snaga-ugao:

$$\boxed{P_g = \frac{1.25 \cdot 1}{1.49} \sin \delta_{gmr} = 0.839 \sin \delta_{gmr}}$$

3° <u>posthavarijski režim</u>

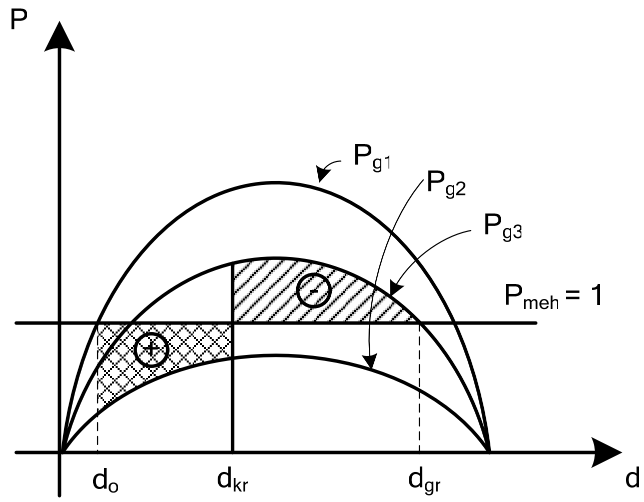
Nakon djelovanja zaštite, vod pogođen kvarom se isključuje iz sistema, pa je zamjenska šema:



Lako je uočiti da je $Z_{gmr} = j0.8$, pa je kriva snaga-ugao

$$\boxed{P_g = \frac{1.25 \cdot 1}{0.8} \sin \delta_{gmr} = 1.562 \sin \delta_{gmr}}$$

Sada, potrebno je nacrtati sve tri karakteristike snaga-ugao,



Sa slike se vidi da je potražnja ostala ista u svakom režimu ($P_{meh} = 1$). Radna tačka u normalnom režimu određena je uglom δ_o. Neposredno nakon kvara, radna tačka "prelazi" na krivu P_{g3} koja odgovara havarijskom režimu. Kako je tada prisutna razlika u proizvodnji i potrošnji radna tačka nastavlja da se kreće u smjeru povećanja ugla δ (jer to odgovara povećanju aktivne snage koju daje generator), jer generator teži da uspostavi bilans između proizvodnje i potrošnje. Neograničeno povećavanje ugla nakon određenog vremena dovodi do narušavanja stabilnosti i generator ispada iz rada. Granična vrijednost ugla naziva se kritični ugao δ_{kr} je najveća vrijednost ugla koja omogućava da generator ostane u stabilnom radu. Zato je potrebno da zaštita odreaguje prije nego ugao pređe kritičnu vrijednost.

Kriterijum "jednakih površina" provjerava odnos između površina označenih na slici:

- *površina ubrzanja* (označena je sa +)

- *površina usporenja* (označena je sa -).

Kaže se da je sistem stabilan ako je površina ubrzanja manja ili jednaka od površine usporenja.

Kako bi se proračunale označene površine potrebno je odrediti δ_o i δ_{gr}.

$$1 = 2.18 \sin \delta_o$$
$$\delta_o = 27.3^\circ = 0.476 \ rad$$

$$1 = 1.562 \sin \delta_{gr}$$
$$\delta_{gr} = \arcsin\left(\frac{1}{1.562}\right) = \left(180 - 39.8\right)^\circ = 140.2^\circ = 2.447 \ rad$$

Kritični ugao se određuje iz jednakosti pomenutih površina, dakle

$P_+ = P_-$

$$\int_{\delta_o}^{\delta_{kr}} \left(1 - 0.839 \sin \delta\right) d\delta = \int_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} \left(1.562 \sin \delta - 1\right) d\delta$$
$$\delta\Big|_{\delta_o}^{\delta_{kr}} + 0.839 \cos \delta\Big|_{\delta_o}^{\delta_{kr}} = -1.562 \cos \delta\Big|_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}} - \delta\Big|_{\delta_{kr}}^{\delta_{gr}}$$
$$\delta_{kr} - \delta_o + 0.839 \cos \delta_{kr} - 0.839 \cos \delta_o = -1.562 \cos \delta_{gr} + 1.562 \cos \delta_{kr} - \delta_{gr} + \delta_{kr}$$
$$1.562 \cos \delta_{gr} + \delta_{gr} - \delta_o - 0.839 \cos \delta_o = 0.723 \cos \delta_{kr}$$
$$0.723 \cos \delta_{kr} = 0.025 \ \Rightarrow \ \delta_{kr} = 1.536 \, rad = 88.02^\circ$$