

Статична устойчивост на проста ЕЕС – класически подход

Зад. 1

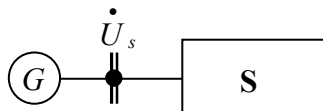
Неявнополюсна синхронна машина работи в паралел със система с безкрайно голяма мощност с напрежение $U_s = 6,3\text{kV}$. Машината има следните каталожни данни:

$$U_{\text{ном}} = 6,3\text{kV}$$

$$S_{\text{ном}} = 4\text{MVA}$$

$$X_d = X_q = 120\%$$

$$\cos\phi_H = 0,8$$



Ако активната мощност, която машината отдава в системата е равна на номиналната, да се определи коефициента на запаса по статична устойчивост:

- при номинален индуктивен режим;
- при чисто активен режим;
- при капацитивен режим.

Решение:

Синхронният импеданс изразен в именовани единици е

$$X_d = X_q = \frac{120}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{S_{\delta}} = 10,8\Omega$$

I. Индуктивен режим с номинален $\cos\phi_H = 0,8$

Активната мощност, която генератора отдава в този режим е:

$$P_0 = P_{\text{ном}} = S_{\text{ном}} \cdot \cos\phi_H = 4 \cdot 0,8 = 3,2\text{MW}$$

Номиналната турбинна мощност е:

$$P_{\text{турб}} = P_{\text{мех},0} = P_{\text{ном}} = 3,2\text{MW}$$

При $\cos\phi_H = 0,8 \rightarrow \phi_{\text{ном}} = 36,87^\circ$

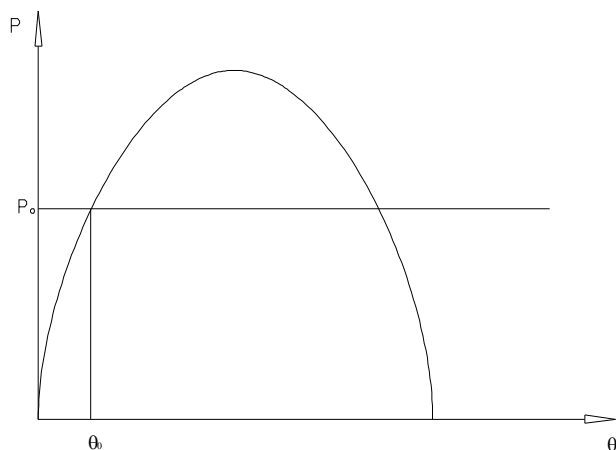
$$\text{Номиналният ток е } \dot{I}_0 = \dot{I}_{\text{ном}} = \sqrt{3} \cdot \dot{I}_{\phi} = \frac{\hat{S}_{\text{ном}}}{\hat{U}_{\text{ном}}} = \frac{4 \cdot e^{j-36,87}}{6 \cdot e^{j0}} = 0,667 \cdot e^{j-36,87}$$

$$\text{Е.Д.Н е: } \dot{E}_{q0} = \dot{E}_{Q0} = \dot{U}_0 + jX_d \cdot \dot{I}_0 = 11,8 \cdot e^{j29,167} \text{ kV}$$

Тгловата характеристика на мощността е:

$$P = \frac{E_{q0} \cdot U_0}{X_d} \cdot \sin\theta = \underbrace{\frac{11,8 \cdot 6}{10,8}}_{P_{\text{max}}} \sin\theta = \underbrace{6,555}_{P_{\text{max}}} \sin\theta$$

$$P_0 = 6,555 \cdot \sin\theta_0 = 6,555 \cdot \sin 29,167^\circ = 3,2\text{MW}$$

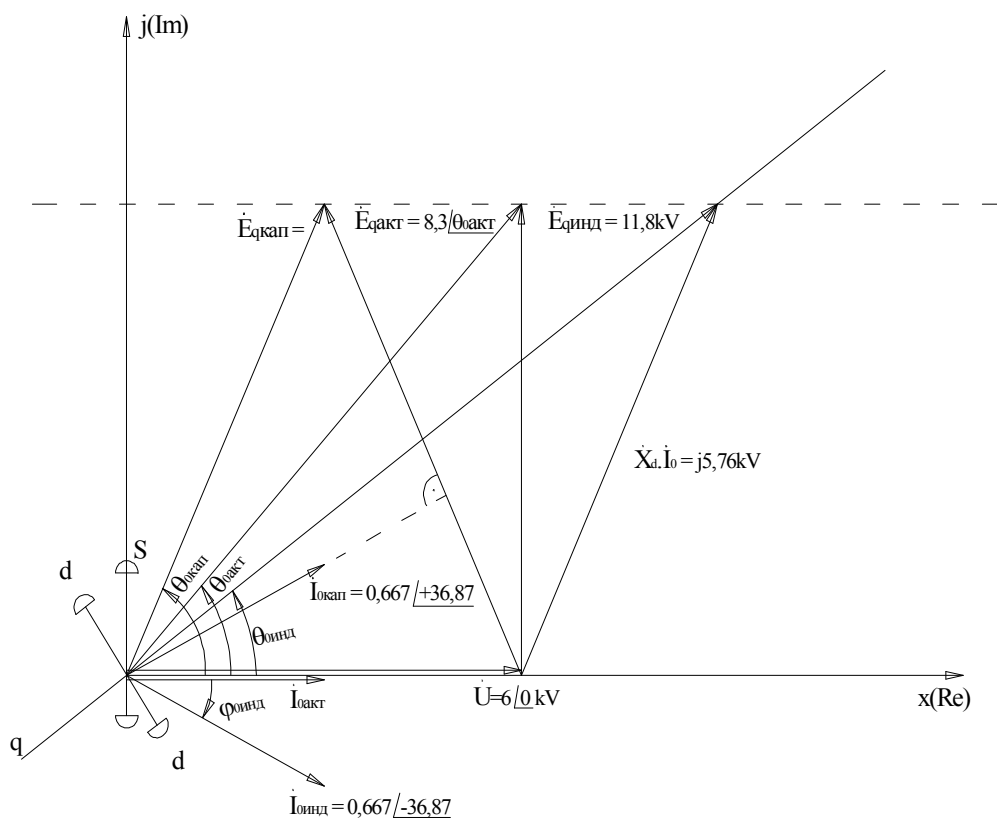


Коефициента на запаса по статична устойчивост е :

$$k_c = \frac{P_{\max} - P_0}{P_0} \cdot 100 = 104,8\% > 20\%$$

$$Q_0 = \frac{E_{q0}^2}{X_d} - \frac{E_{q0} \cdot U_s}{X_d} \cdot \cos \theta_0 =$$

Активната мощност остава постоянна, възбудителният ток се изменя който изменя реактивната мощност на синхронната машина.



$$\cos \varphi_0, \text{ инд} = 0,8 \longrightarrow \varphi_{\text{инд}} = -36,87^\circ$$

$$\cos \varphi_0, \text{ акт} = 1,0 \longrightarrow \varphi_{\text{акт}} = 0^\circ$$

$$\cos \varphi_0, \text{ кап} = 0,8 \longrightarrow \varphi_{\text{кап}} = +36,87^\circ$$

2. Активен режим $\cos\varphi=1$

Мощността която може да отдаде генератора при този режим е ограничена е ограничена от мощността на турбината ($P_{\text{турб.}}=3,2\text{MW}$).

Токът при този режим е:

$$\dot{I}_{0,\text{акт}} = \frac{\hat{S}}{\hat{U}} = 0,534\text{kA}$$

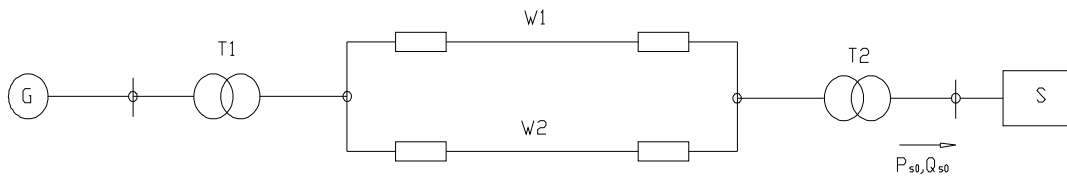
3. Капацитивен режим, $\cos\varphi_{0,\text{кап}} = 0,8 \longrightarrow \varphi_{\text{кап}} = +36,87^\circ$

Токът при този режим:

$$\dot{I}_{0,\text{кап}} = \frac{\hat{S}}{\hat{U}} = 0,667\text{kA}$$

Зад.6:

Дадена е проста ЕЕС от фигурата по-долу.



Параметри на елементите на дадената ЕЕС, изразени в относителни единици:

$$U_0 = 1 = \text{const}$$

$$P_{s0} = 1$$

$$X_d = 0,2$$

$$T_j = 8,18s$$

$$X_{T1} = 0,138$$

$$X_{T2} = 0,122$$

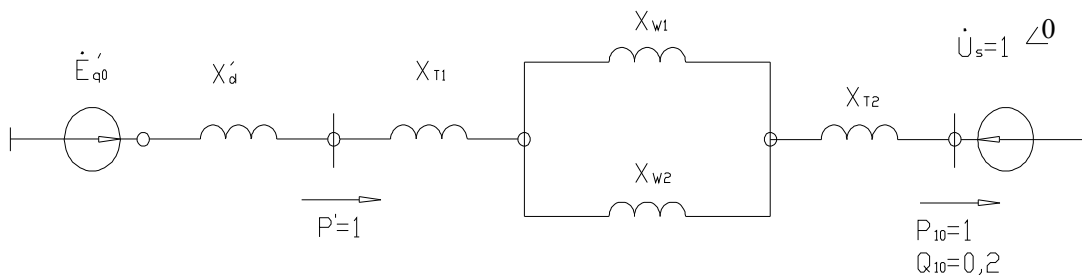
$$X_{W1} = X_{W2} = 0,4888$$

Да се оцени динамичната устойчивост на ЕЕС, ако в системата внезапно изключи електропровода W1.

Решение:

I. Изходен установен режим

Ще построим еквивалентна заместваща схема за изходния установен режим.



Сумарното съпротивление за трите режима е;

$$X'_\Sigma = X'_d + X_{T1} + \frac{X_{W1}}{2} + X_{T2} = 0,295 + 0,138 + \frac{0,488}{2} + 0,122 = 0,799$$

Е.д.н на генератора:

$$E'_{q0} = \sqrt{\left(U_s + \frac{Q_{s0} \cdot E'_\Sigma}{U_s} \right)^2 + \left(\frac{P_{s0} \cdot X'_\Sigma}{U_s} \right)^2} = \sqrt{\left(1 + \frac{0,2 \cdot 0,799}{1} \right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 0,799}{1} \right)^2} = 1,41$$

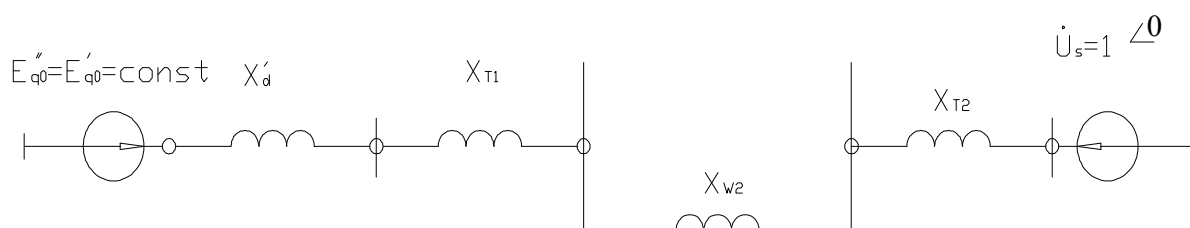
Ъгловата характеристика на мощността на генератора в този режим е:

$$P^I = P_{\max}^I \cdot \sin\theta^I = \frac{E_{q0} \cdot U_s}{X_{\Sigma}^I} \cdot \sin\theta^I = \frac{1,41 \cdot 1}{0,799} \cdot \sin\theta^I = 1,765 \cdot \sin\theta^I$$

II. Аварийен режим



Еквивалентна схема за аварийен режим:



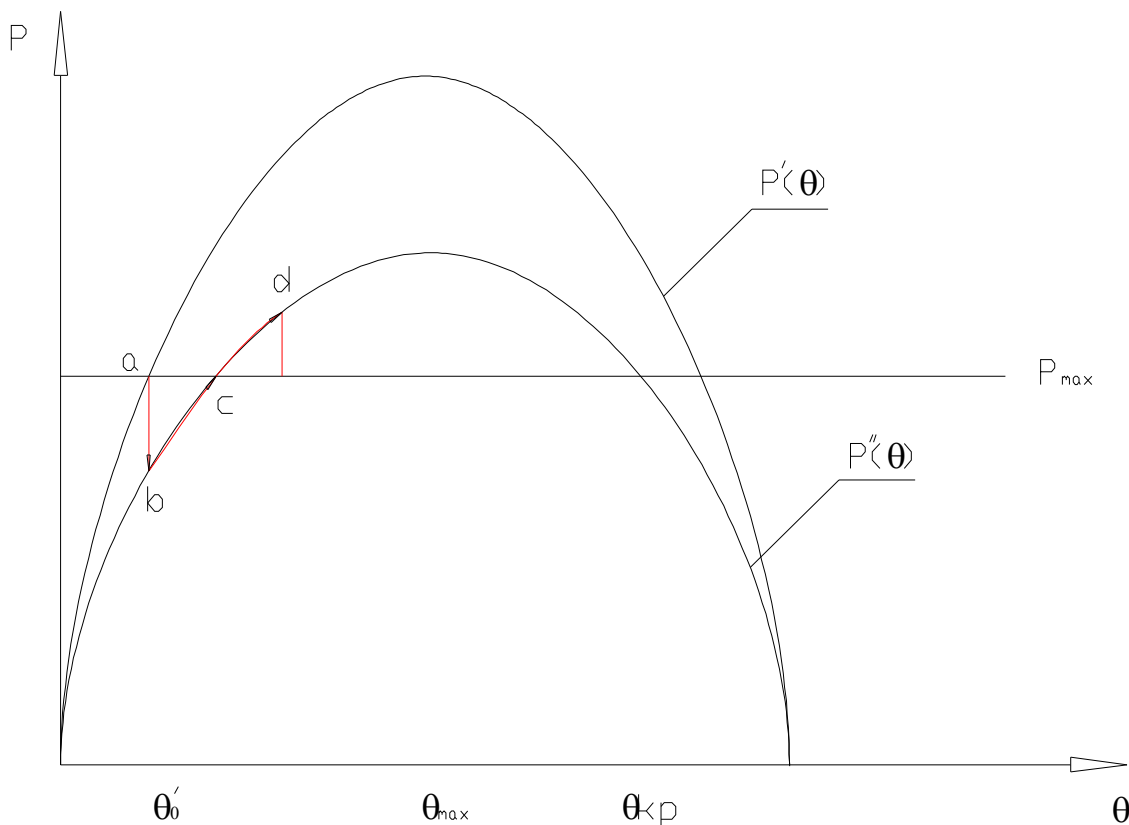
Сумарното съпротивление е:

$$X_{\Sigma}^{\text{II}} = X'_d + X_{T1} + X_{w1} + X_{T2} = 0,295 + 0,138 + 0,488 + 0,122 = 1,043$$

Ъгловата характеристика на мощността в аварийен режим е:

$$P^{\text{II}} = P_{\max}^{\text{II}} \cdot \sin\theta^{\text{II}} = \frac{E_{q0}^I \cdot U_s}{X_{\Sigma}^{\text{II}}} \cdot \sin\theta^{\text{II}} = \frac{1,41 \cdot 1}{1,043} \cdot \sin\theta^{\text{II}} = 1,35 \cdot \sin\theta^{\text{II}}$$

Получените характеристики на мощността имат приблизително следния вид:



Оценката на устойчивостта може да се извърши графично, чрез уравнение на ускоряващата и забавящата площи.

Степента на устойчивост може да се оцени с коефициента на записа $\kappa = \frac{F_{\text{възм.заб.}}}{F_{\text{уск.}}}$

$$F_{\text{възм.заб.}} = \int_{\theta^{\text{II}}}^{\theta_{\text{кр}}} (P^{\text{II}} + P_{\text{мех.}}) d\theta = P_{\text{мех.}} (\cos\theta^{\text{II}} - \cos\theta_{\text{кр}}) - P_{\text{мех.}} (\theta_{\text{кр}} - \theta^{\text{II}})$$

$$F_{\text{уск.}} = \int_{\theta_0}^{\theta^{\text{II}}} (P_{\text{мех.}} - P^{\text{II}}) d\theta = P_{\text{мех.}} (\theta^{\text{II}} - \theta_0) - P_{\text{мех.}} (\cos\theta^{\text{II}} - \cos\theta_0)$$

$$\theta^{\text{II}} = \arcsin \frac{P_{\text{мех.}}}{P_{\text{мех.}}^{\text{II}}} = \arcsin \frac{1}{1,35} = 47,75^{\circ}$$

$$\theta_{\text{кр}} = 180 - 47,75 = 132,25^{\circ}$$

Като заместим с числови стойности:

$$F_{\text{уск.}} = 1 \cdot (47,75^{\circ} - 34,5^{\circ}) \frac{1}{57,3} + 1,35 \cdot (\cos 47,75^{\circ} - \cos 34,5^{\circ}) = 0,0263$$

$$F_{\text{възм.заб.}} = 1,35 \cdot (\cos 47,75^{\circ} - \cos 132,25^{\circ}) - 1 \cdot (132,25^{\circ} - 47,75^{\circ}) \frac{1}{57,3} = 0,339$$

$$\kappa = \frac{F_{\text{възм.заб.}}}{F_{\text{уск.}}} = \frac{0,339}{0,0263} = 12,9 > 1$$

Вижда се, че системата е динамично устойчива с добър коефициент на запаса.