

# Високонапонски мрежи и системи

## Стабилност на работа на ЕЕС – примери

М. Тодоровски

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ во Скопје  
Факултет за електротехника и информациски технологии  
[mirko@feit.ukim.edu.mk](mailto:mirko@feit.ukim.edu.mk), [pees.feit.ukim.edu.mk](mailto:pees.feit.ukim.edu.mk)



## Пример 5.9

Синхрон генератор е приклучен на крута мрежа и работи на карактеристиката  $P(\theta) = 170 \sin \theta$ . Колкави ќе бидат периодот  $T_n$  и фреквенцијата  $f_n$  на слободните осцилации, предизвикани од мали пореметувања во работата на генераторот за следните два случаја:

а) генераторот ја оддава номиналната активна моќност

$$P_0 = P_n = 85 \text{ MW};$$

б) генераторот оддава 50% од номиналната активна моќност

$$P_0 = 42,5 \text{ MW}.$$

Податоци за генераторот:  $S_n = 100 \text{ MVA}$ ;  $\cos \phi_n = 0,85$ ;  $T_J = 6 \text{ s}$ .

Константа на инерција

$$M = \frac{S_n T_J}{\omega_0} = \frac{100 \cdot 6}{100 \cdot \pi} = 1,91 \frac{\text{MW} \cdot \text{s}^2}{\text{rad}}.$$

а) Генераторот во мрежата оддава моќност  $P_0 = P_n = 85 \text{ MW}$

$$\theta_0 = \arcsin \frac{P_0}{P_M} = \arcsin \frac{85}{170} = 30^\circ.$$

## Пример 5.9

Синхронизациона моќност

$$P_s = P_M \cos \theta_0 = 170 \cdot \cos 30^\circ = 147,2 \text{ MW.}$$

Период и фреквенција на сопствените осцилации

$$T_n = \frac{2\pi}{\sqrt{P_s/M}} = \frac{2\pi}{\sqrt{147,2/1,91}} = 0,717 \text{ s;}$$

$$f_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{0,716} = 1,40 \text{ Hz.}$$

*б) Генераторот оддава во мрежата моќност  $P_0 = P_n/2 = 42,5 \text{ MW}$*

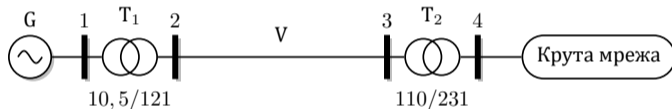
$$\theta_0 = \arcsin \frac{P_0}{P_M} = \arcsin \frac{42,5}{170} = 14,5^\circ.$$

$$P_s = P_M \cos \theta_0 = 170 \cdot \cos 14,5^\circ = 164,6 \text{ MW;}$$

$$T_n = \frac{2\pi}{\sqrt{P_s/M}} = \frac{2\pi}{\sqrt{164,6/1,91}} = 0,677 \text{ s; } f_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{0,677} = 1,48 \text{ Hz.}$$

## Пример 5.10

За системот претставен на сликата, да се определи максималната моќност  $P_M$  што може да се пренесува преку него, како и да се определи границата на статичката стабилност. Синхрониот генератор е без автоматска регулација на возбудата и работи со номинална возбуда. Напонот на крутата мрежа се одржува на константна вредност  $U_4 = 225 \text{ kV}$ .



Податоци за елементите:

- $G$ :  $S_n = 80 \text{ MVA}$ ;  $\cos \phi_n = 0,9$ ;  $U_n = 10,5 \text{ kV}$ ;  $x_d = x_q = 160\%$ ;  $T_j = 8 \text{ s}$ .
- $T_1$ :  $S_n = 80 \text{ MVA}$ ;  $U_{1n}/U_{2n} = 10,5/121 \text{ kV/kV}$ ;  $u_k = 12\%$ ;  $R_T \approx 0$ .
- $V$ :  $\underline{z} = (0,1 + j0,42) \Omega/\text{km}$ ;  $l = 50 \text{ km}$ .
- $T_2$ :  $S_n = 80 \text{ MVA}$ ;  $U_{1n}/U_{2n} = 110/231 \text{ kV/kV}$ ;  $u_k = 12\%$ ;  $R_T \approx 0$ .

## Пример 5.10

$$X_d = X_q = \frac{x_d}{100} \frac{U^2}{S_n} = \frac{160}{100} \frac{10,5^2}{80} \left( \frac{121}{10,5} \right)^2 = 292,8 \Omega;$$

$$X_V = x \cdot l = 0,42 \cdot 50 = 21 \Omega;$$

$$X_{T1} = \frac{u_k}{100} \frac{U^2}{S_n} = \frac{12}{100} \frac{121^2}{80} = 22,0 \Omega;$$

$$X_{T2} = \frac{u_k}{100} \frac{U_2^2}{S_n} = \frac{12}{100} \frac{110^2}{80} = 18,2 \Omega;$$

$$X_\Sigma = X_d + X_{T1} + X_V + X_{T2} = 292,8 + 22 + 21 + 18,2 = 354 \Omega.$$

$$\underline{E}_{qnf} = \underline{U}_{nf} + jX_q \cdot \underline{I}_n,$$

$$\underline{E}_{qn} = \underline{U}_n + j\sqrt{3} \cdot X_q \cdot \underline{I}_n.$$

Фазниот агол на напонот е еднаков на нула, фазниот агол на струјата е  $-\phi_n$

$$\underline{E}_{qn} = U_n + j\sqrt{3} \cdot X_q \cdot I_n \cdot (\cos \phi_n - j \sin \phi_n),$$

## Пример 5.10

$$E_{qn} = \sqrt{\left(U_n + \sqrt{3}X_q I_n \sin \phi_n\right)^2 + \left(\sqrt{3}X_q I_n \cos \phi_n\right)^2}.$$

Бидејќи реактанциите се сведени на напонско ниво 110 kV, вредностите на  $U_n$  и  $I_n$  ги сведуваме на истото напонско ниво

$$U_n = 10,5 \cdot \frac{121}{10,5} = 121 \text{ kV};$$

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \cdot \frac{10,5}{121} = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot \frac{10,5}{121} = 0,3817 \text{ kA}.$$

Електромоторната сила изнесува

$$\begin{aligned} E_{qn} &= \sqrt{\left(121 + \sqrt{3} \cdot 292,8 \cdot 0,3817 \cdot 0,4359\right)^2 + \left(\sqrt{3} \cdot 292,8 \cdot 0,3817 \cdot 0,9\right)^2} \\ &= 269,32 \text{ kV}. \end{aligned}$$

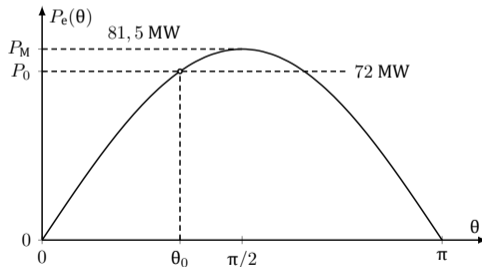
## Пример 5.10

Напон  $U_4$  сведен на 110 kV

$$U_4 = 225 \cdot (110/231) = 107,15 \text{ kV};$$

Максимална моќност што генераторот би можел да ја испорача на ЕЕС

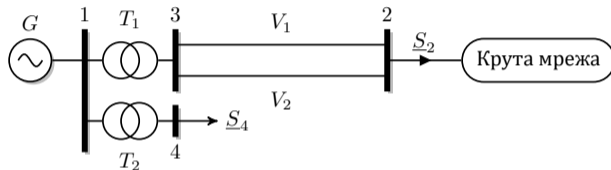
$$P_M = \frac{E_{qn} \cdot U_4}{X_\Sigma} = \frac{269,32 \cdot 107,15}{354} = 81,5 \text{ MW}.$$



Генераторот е статички стабилен бидејќи  $\theta_0 = \arcsin(S_n \cos \phi_n / P_M) = 62^\circ < 90^\circ$

## Пример 5.11

На сликата е прикажан еден ЕЕС. Да се испита системот на статичка стабилност и да се определи коефициентот на статичка резерва  $k_s$



Податоци за елементите

- $G$ : 130 MVA; 10,5 kV;  $x_d = 120\%$ ;  $x_q = 75\%$ ;
- $T_1$ : 100 MVA; 10,5/110 kV/kV;  $u_k = 10,5\%$ ;
- $T_2$ : 20 MVA; 10,5/35 kV/kV;  $u_k = 6\%$ ;
- $V_1 \equiv V_2$ :  $\underline{z} = (0,17 + j0,398) \Omega/\text{km}$ ;  $b = 2,79 \mu\text{S}/\text{km}$ ;  $l = 130 \text{ km}$ ;
- Предадена моќност на ЕЕС:  $\underline{S}_2 = (90 + j30) \text{ MVA}$ ;  $U_2 = 110 \text{ kV}$ ;
- Потрошувач 4:  $\underline{S}_4 = (16 + j12) \text{ MVA}$ ;  $U_4 = 35 \text{ kV}$ ;

## Пример 5.11

Базни величини

$$U_{B1} = 10,5 \text{ kV}; \quad U_{B2} = 35 \text{ kV}; \quad U_{B3} = 110 \text{ kV}; \quad S_B = 100 \text{ MVA}.$$

Базни импеданции

$$Z_{B1} = \frac{U_{B1}^2}{S_B} = 1,0125 \Omega; \quad Z_{B2} = \frac{U_{B2}^2}{S_B} = 12,25 \Omega; \quad Z_{B3} = \frac{U_{B3}^2}{S_B} = 121 \Omega.$$

Потрошувачот во јазелот 4

$$\underline{Z}_{P4} = \frac{U_{P4}^2}{\underline{S}_4^*} = (49 + j36,75) \Omega,$$

$$\underline{z}_{P4} = \frac{\underline{Z}_{P4}}{Z_{B2}} = \frac{49 + j36,75}{12,25} = (4 + j3) \text{ pu}.$$

## Пример 5.11

$$x_{T1} = \frac{u_{k1}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{S_B}{U_{B3}^2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{110^2}{100} \cdot \frac{100}{110^2} = 0,105 \text{ pu};$$

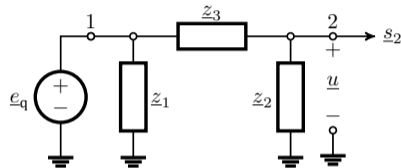
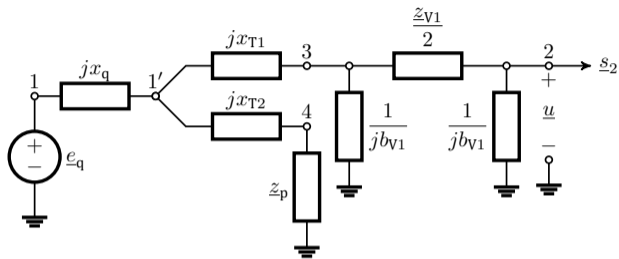
$$x_{T2} = \frac{u_{k2}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \frac{S_B}{U_{B2}^2} = \frac{6}{100} \cdot \frac{35^2}{20} \cdot \frac{100}{35^2} = 0,3 \text{ pu};$$

$$\underline{z}_{V1} = \frac{\underline{z} \cdot l}{Z_{B3}} = \frac{(0,17 + j0,398) \cdot 130}{121} = (0,183 + j0,428) \text{ pu};$$

$$\frac{b_{V1}}{2} = \frac{b \cdot l/2}{Y_{B3}} = \frac{b \cdot l}{2} \cdot Z_{B3} = 2,79 \cdot 10^{-6} \cdot 65 \cdot 121 = 0,0219 \text{ pu};$$

$$x_q = \frac{x_q \%}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \frac{1}{Z_{B1}} = \frac{75}{100} \cdot \frac{10,5^2}{130} \cdot \frac{1}{1,1025} = 0,577 \text{ pu}.$$

## Пример 5.11



Ги елиминираме пасивните јазли 1', 3 и 4

$$\underline{z}_1 = (11,468 + j10,643) = 15,646 \cdot e^{j42,9^\circ} \text{ pu},$$

$$\underline{z}_2 = (10,406 - j0,745) = 10,433 \cdot e^{-j4,1^\circ} \text{ pu},$$

$$\underline{z}_3 = (0,068 + j0,920) = 0,922 \cdot e^{j85,8^\circ} \text{ pu}.$$

## Пример 5.11

Од редуцираната мрежа следуваат следните релации

$$\underline{y}_{11} = 1/z_1 + 1/z_3 = 1,1316 \cdot e^{-j83,6^\circ} \text{ pu}; \quad \alpha_{11} = 173,6^\circ;$$

$$\underline{y}_{12} = -1/z_3 = 1,0840 \cdot e^{j94,2^\circ} \text{ pu}; \quad \alpha_{12} = -4,2^\circ.$$

Единичните вредности на напонот  $\underline{U}_2$  и моќноста  $\underline{S}_2$

$$\underline{u}_2 = \frac{\underline{U}_2}{U_{B3}} = \frac{110}{110} = 1 \text{ pu};$$

$$\underline{s}_2 = \frac{\underline{S}_2}{S_B} = \frac{90 + j30}{100} = (0,9 + j0,3) \text{ pu}.$$

Тргувајќи од познатиот напон  $\underline{u}_2$  и познатата моќност  $\underline{s}_2$ , со решавање на колото се добива  $\underline{e}_q = 1,606 \cdot e^{j33,9^\circ}$

Аглова карактеристика на моќност на која ќе работи генераторот

$$p(\theta) = e_q^2 \cdot y_{11} \cdot \sin \alpha_{11} + e_q \cdot u_2 \cdot y_{12} \cdot \sin(\theta + \alpha_{12}) \text{ pu},$$

$$p(\theta) = 0,325 + 1,741 \cdot \sin(\theta - 4,3^\circ) \text{ pu}.$$

## Пример 5.11

За  $\theta = 94,3^\circ$  ќе добиеме

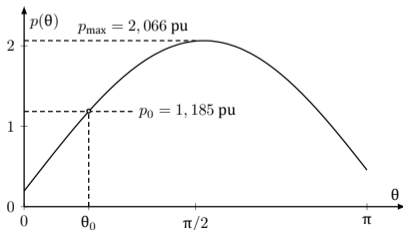
$$p_{\max} = 0,328 + 1,742 = 2,066 \text{ pu.}$$

Во посматраниот режим на работа аголот на изместување изнесува  $\theta_0 = 33,9^\circ$

$$p_0 = 0,325 + 1,741 \cdot \sin(33,9^\circ - 4,3^\circ) = 1,185 \text{ pu.}$$

Коефициент на статичка резерва

$$k_s = \frac{p_{\max} - p_0}{p_0} = \frac{2,066 - 1,185}{1,185} = 0,744.$$



Доколку проблемот го решивме со занемарување на попречните гранки, за коефициентот на статичка резерва ќе добиевме вредност  $k_s = 0,755$ .

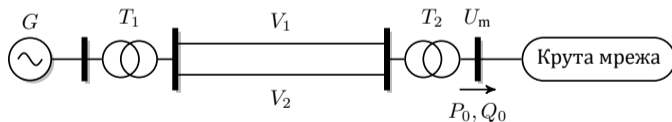
## Пример 5.12

Во ЕЕС прикажан на сликата доаѓа до ненадејно исклучување на еден од водовите. Пред исклучувањето на водот, режимот во којшто работел системот ги имал следните параметри (изразени во релативни единици при базна моќност  $S_B = 220 \text{ MVA}$  и базен напон  $U_B = 210 \text{ kV}$ ):

$P_0 = 1 \text{ pu}$ ;  $Q_0 = 0,2 \text{ pu}$ ;  $U_m = 1 \text{ pu}$ ;  $X'_d = 0,295 \text{ pu}$ ;  $X_{T1} = 0,138 \text{ pu}$ ;  $X_{T2} = 0,122 \text{ pu}$ ;  
 $X_{V1} = X_{V2} = X_V = 0,488 \text{ pu}$ .

За генераторот  $G$  се познати следните податоци:  $S_n = 1 \text{ pu}$ ;  $T_J = 8,18 \text{ s}$ .

Да се утврди дали е системот динамички стабилен и со помош на правилото на еднакви површини да се пресмета максималниот агол на нишање  $\theta_2$ .



## Пример 5.12

а) Режимски параметри пред исклучување на водот

$$X_{\Sigma 1} = X'_d + X_{T1} + X_V/2 + X_{T2} = 0,799 \text{ pu};$$

$$\underline{E}' = U_m + \frac{Q_0 X_{\Sigma 1}}{U_m} + j \frac{P_0 X_{\Sigma 1}}{U_m} = 1,16 + j0,799 = 1,41 \cdot e^{j34,5^\circ} \text{ pu};$$

$$P_{M1} = \frac{E' \cdot U_m}{X_{\Sigma 1}} = \frac{1,41 \cdot 1}{0,799} = 1,765 \text{ pu};$$

$$P_1(\theta) = 1,765 \cdot \sin \theta.$$

б) Работа на системот по исклучувањето на водот

$$X_{\Sigma 2} = X'_d + X_{T1} + X_V + X_{T2} = 1,043 \text{ pu};$$

$$P_{M2} = \frac{E' \cdot U_m}{X_{\Sigma 2}} = \frac{1,41 \cdot 1}{1,043} = 1,35 \text{ pu};$$

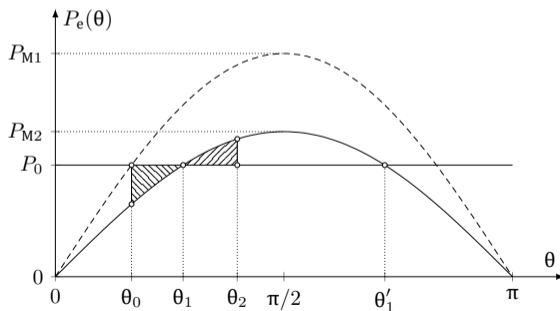
$$P_2(\theta) = 1,35 \cdot \sin \theta.$$

## Пример 5.12

$$\theta_0 = 34,5^\circ = 0,602 \text{ rad};$$

$$\theta_1 = \arcsin(P_0/P_{M2}) = \arcsin(1/1,35) = 47,8^\circ = 0,834 \text{ rad};$$

$$\theta'_1 = 180 - \theta_1 = 132,2^\circ = 2,307 \text{ rad}.$$



## Пример 5.12

$$\begin{aligned}A^+ &= \int_{\theta_0}^{\theta_1} \Delta P(\theta) d\theta = \int_{\theta_0}^{\theta_1} (P_0 - P_{M2} \sin \theta) d\theta \\&= P_0(\theta_1 - \theta_0) + P_{M2}(\cos \theta_1 - \cos \theta_0) \\&= 1 \cdot (0,834 - 0,602) + 1,35 \cdot (\cos 47,8^\circ - \cos 34,5^\circ) = 0,0278 \text{ pu};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{\max}^- &= - \int_{\theta_1}^{\theta_1'} \Delta P(\theta) d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_1'} (P_{M2} \sin \theta - P_0) d\theta \\&= P_0(\theta_1 - \theta_1') + P_{M2}(\cos \theta_1 - \cos \theta_1') \\&= 1 \cdot (0,834 - 2,307) + 1,35 \cdot (\cos 47,8^\circ - \cos 132,2^\circ) = 0,341 \text{ pu}.\end{aligned}$$

Коефициент на динамичка резерва

$$k_d = A_{\max}^- / A^+ = 0,341 / 0,0278 = 12,3.$$

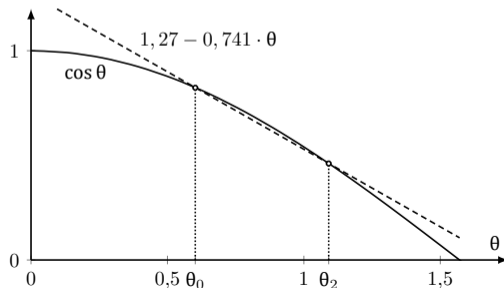
## Пример 5.12

Определување на максималниот агол  $\theta_2$

$$\int_{\theta_0}^{\theta_1} (P_0 - P_{M2} \sin \theta) d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} (P_{M2} \sin \theta - P_0),$$

$$P_0(\theta_1 - \theta_0) + P_{M2}(\cos \theta_1 - \cos \theta_0) = P_0(\theta_1 - \theta_2) + P_{M2}(\cos \theta_1 - \cos \theta_2),$$

$$\cos \theta_2 = \cos \theta_0 + \frac{P_0}{P_{M2}}(\theta_0 - \theta_2), \quad \cos \theta_2 = 1,27 - 0,741 \cdot \theta_2.$$



## Пример 5.12

Нумеричко решение

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)}$$

$$f(x) = 0,741 \cdot x + \cos x - 1,27$$

$$x_{i+1} = x_i - \frac{0,741 \cdot x_i + \cos x_i - 1,27}{0,741 - \sin x_i}.$$

programi/stab/nelin\_rav.m

---

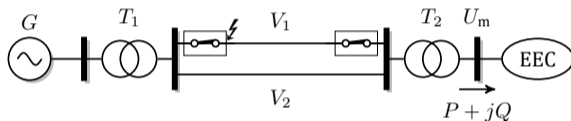
```
1 kraj = false; iter = 0;
2 x = 1
3 while (~kraj && iter < 100)
4     iter = iter + 1;
5     f = 0.741*x + cos(x) - 1.27;
6     df = 0.741 - sin(x);
7     x = x - f/df
8     kraj = abs(f) <= 1e-6;
9 end
```

---

$$\theta_2 = 1,0912 \text{ rad} = 62,52^\circ$$

## Пример 5.13

Во прикажаниот систем на сликата, на почетокот на еден од водовите доаѓа до појава на трифазна куса врска. Повредениот вод се исклучува 0,2 s по нејзиното настанување. Да се испита дали системот е динамички стабилен.



Податоци за елементите:  $S_{nG} = 150 \text{ MVA}$ ,  $T_J = 6 \text{ s}$ ,  $X'_d = 50 \Omega$ ,  $X_{T1} = X_{T2} = 15 \Omega$ ,  
 $X_{V1} = X_{V2} = 40 \Omega$ ,  $P = 120 \text{ MW}$ ,  $Q = 60 \text{ Mvar}$ ,  $U_m = 110 \text{ kV}$ .

## Пример 5.13

$$X_{\Sigma 1} = X'_d + 2X_{T1} + X_{V1}/2 = 100 \Omega,$$

$$\underline{E}' = U_m + \frac{QX_{\Sigma 1}}{U_m} + j\frac{PX_{\Sigma 1}}{U_m} = 197,42 \cdot e^{33,5^\circ} \text{ kV}.$$

$$P_{M1} = \frac{E'U_m}{X_{\Sigma 1}} = \frac{197,42 \cdot 110}{100} = 217,17 \text{ MW};$$

$$P_1(\theta) = 217,17 \cdot \sin \theta;$$

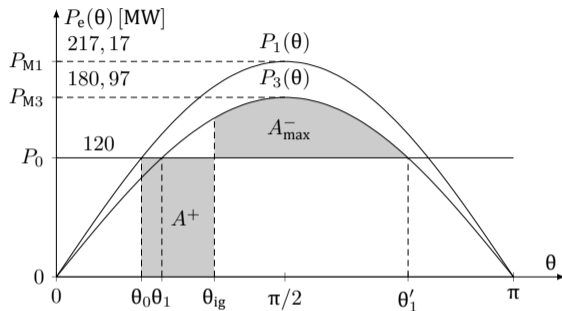
$$\theta_0 = 33,5^\circ = 0,585 \text{ rad}$$

$$X_{\Sigma 2} = X'_d + 2X_{T1} + X_{V1} = 120 \Omega,$$

$$P_{M3} = \frac{E'U_m}{X_{\Sigma 2}} = \frac{197,42 \cdot 110}{120} = 180,97 \text{ MW};$$

$$P_3(\theta) = 180,97 \cdot \sin \theta.$$

## Пример 5.13



$$\int_{\theta_0}^{\theta_{ig}} (P_0 - 0) \cdot d\theta = \int_{\theta_{ig}}^{\theta'_1} (P_{M3} \sin \theta - P_0) \cdot d\theta,$$

$$P_0 \cdot (\theta_{ig} - \theta_0) = P_0 \cdot (\theta_{ig} - \theta'_1) + P_{M3} \cdot (\cos \theta_{ig} - \cos \theta'_1),$$

$$\cos \theta_{ig} = \cos \theta'_1 + \frac{P_0}{P_{M3}} \cdot (\theta'_1 - \theta_0).$$

## Пример 5.13

$$\theta_1 = \arcsin(P_0/P_{M3}) = \arcsin(120/181) = 41,5^\circ = 0,725 \text{ rad};$$

$$\theta'_1 = 180 - \theta_1 = 138,5^\circ = 2,417 \text{ rad};$$

$$\cos \theta_{ig} = 0,466;$$

$$\theta_{ig} = 1,086 \text{ rad} = 62,2^\circ.$$

Во специјален случај, кога дебалансот на моќност  $\Delta P = \text{const.}$ , диференцијалната равенка на движење може да се реши аналитички

$$\theta(t) = \theta_0 + \frac{\Delta P}{M} \cdot \frac{t^2}{2}.$$

$$M = \frac{S_n \cdot T_J}{\omega_0} = \frac{150 \cdot 6}{100 \cdot \pi} = 2,865 \frac{\text{MW} \cdot \text{s}}{\text{rad}}.$$

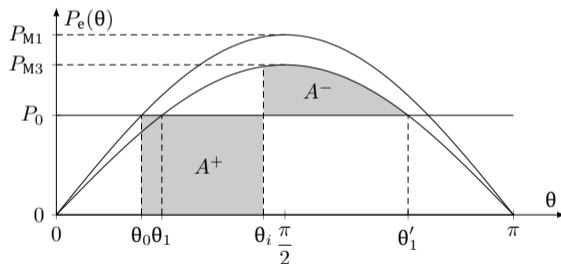
Гранично време на исклучување на кусата врска

$$\theta_{ig} = \theta_0 + \frac{\Delta P}{M} \cdot \frac{t_{ig}^2}{2}, \quad t_{ig} = \sqrt{\frac{2 \cdot M \cdot (\theta_{ig} - \theta_0)}{\Delta P}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,865 \cdot (1,086 - 0,585)}{120}} = 0,15 \text{ s}.$$

## Пример 5.13

Бидејќи  $t_i = 0,2$  s, според тоа е  $t_i > t_{ig}$  системот ќе биде динамички нестабилен.  
Агол во моментот кога е исклучена кусата врска

$$\theta_i = 0,585 + \frac{120}{2,865} \cdot \frac{0,2^2}{2} = 1,423 \text{ rad} = 81,5^\circ; \quad A^+ > A^-$$

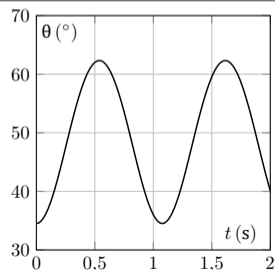
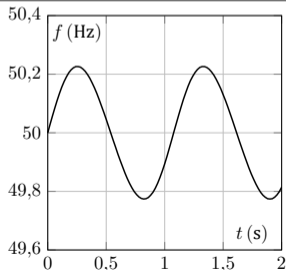


## Пример 5.14

Со помош на нумеричка постапка да се одреди временскиот тек  $\theta(t)$ , т. е. нишањето на аголот на изместување во примерот 5.12.

programi/stab/ispad\_vod\_rk4.m

```
1 addpath('../dif_rav');  
2 Pm = 1; Pm1 = 1.765; Pm2 = 1.35; M = 8.18/(100*pi);  
3 % y(1) = delta_omega  
4 % y(2) = teta  
5 f = @(t,y) [(Pm - Pm2*sin(y(2)))/M; y(1)];  
6 [t, y] = rk4(f, 0, 2, [0 asin(Pm/Pm1)], 100);  
7 figure; plot(t, 50 + y(:,1)/(2*pi)); grid;  
8 figure; plot(t, y(:,2)/pi*180); grid;
```



## Пример 5.15

Во системот прикажан на сликата, кај собирниците 2 доаѓа до нагло вклучување на чисто активен потрошувач со моќност  $P_p = 0,5$  ри. Познати се единичните вредностите на параметрите од елементите на ЕЕС:

$$X'_d = 0,3; X_{T1} = X_{T2} = 0,1; X_{V1} = X_{V2} = 0,4.$$

Режимот во којшто работел ЕЕС пред вклучувањето на потрошувачот се карактеризира со следните режимски параметри, изразени во единични вредности:

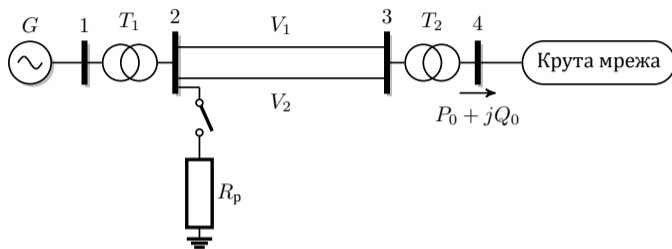
$$U_1 = 1,1; U_2 = 1,0618; U_3 = 1,0111; U_4 = 1; \\ P_0 = 1; Q_0 = 0,0617; E' = 1,2563; \theta_0 = 33,86^\circ;$$

додека по вклучување на потрошувачот, сметајќи дека електромоторната сила на генераторот е непроменета, тие изнесуваат:

$$U_1 = 1,1143; U_2 = 1,0804; U_3 = 1,0245; U_4 = 1; \\ P_0 = 0,5; Q_0 = 0,2331.$$

Да се пресмета максималниот агол на нишање  $\theta_2$  во преодниот електромеханички процес до кој дошло по вклучувањето на потрошувачот.

## Пример 5.15



а) Режим на работа на ЕЕС пред вклучување на потрошувачот

$$X_{\Sigma 1} = X'_d + X_{T1} + X_V/2 + X_{T2} = 0,7 \text{ pu};$$

$$P_{M1} = E' \cdot U_4 / X_{\Sigma 1} = 1,7947 \text{ pu};$$

$$P_1(\theta) = 1,7947 \cdot \sin \theta.$$

## Пример 5.15

б) Режим на работа на ЕЕС по включувањето на потрошувачот

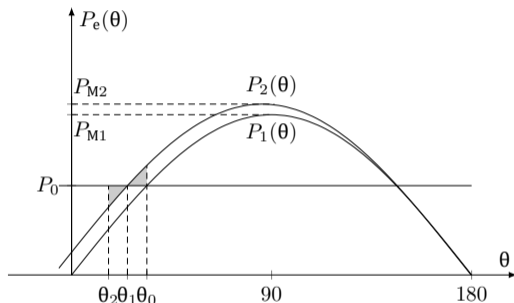
$$R_p = \frac{U_2^2}{P_p} = \frac{1,0804^2}{0,5} = 2,3345 \text{ pu.}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{11} &= j(X'_d + X_{T1}) + R_p \parallel j(X_V/2 + X_{T2}) \\ &= 0,6962 \cdot e^{j86,87^\circ} \text{ pu; } \alpha_{11} = 3,13^\circ; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{Z}_{14} &= j(X'_d + X_{T1}) + j(X_V/2 + X_{T2}) + \frac{j(X'_d + X_{T1}) \cdot j(X_V/2 + X_{T2})}{R_p} \\ &= 0,7019 \cdot e^{j94,20^\circ} \text{ pu; } \alpha_{14} = -4,2^\circ. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2(\theta) &= \frac{E'^2}{Z_{11}} \cdot \sin \alpha_{11} + \frac{E' \cdot U_m}{Z_{14}} \cdot \sin(\theta - \alpha_{14}) \\ &= \frac{1,2563^2}{0,6962} \cdot \sin 3,13^\circ + \frac{1,2563 \cdot 1}{0,7019} \cdot \sin(\theta + 4,2^\circ) \end{aligned}$$

## Пример 5.15



- Бидејќи е  $P_2(\theta_0) > P_1(\theta_0)$  генераторот ќе почне да ја намалува својата брзина.
- Аголот ќе почне да се намалува и во еден момент ќе ја достигне својата минимална вредност  $\theta_2$ . Потоа тој ќе почне да расте и процесот ќе се одвива осцилаторно.
- Вредноста  $\theta_2 = 16,62^\circ$  се добива со на правилото на еднакви површини. Осцилациите на аголот се во интервалот  $16,62^\circ < \theta < 33,86^\circ$ .
- Нова рамнотежна положба на карактеристиката  $P_2(\theta)$ ,  $\theta = \theta_1 = 25,12^\circ$ .