

Zadatak 1

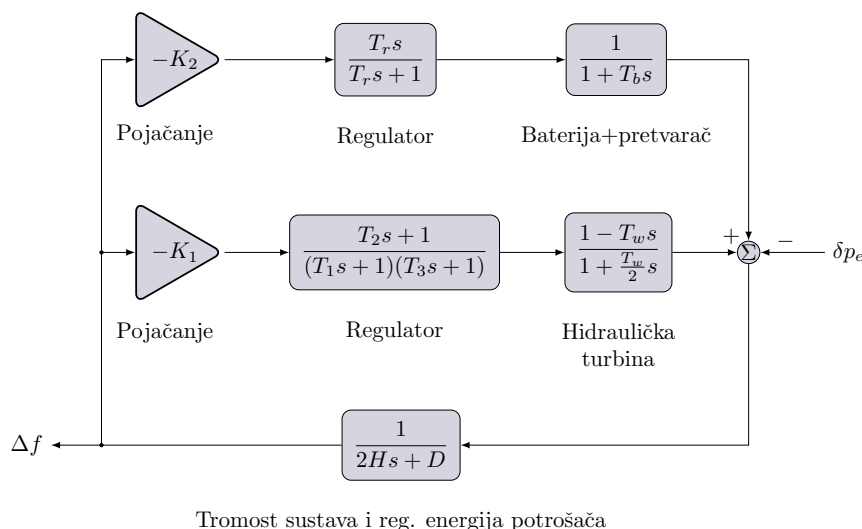
48-polni sinkroni hidroagregat momenta tromosti $9.35 \cdot 10^6 \text{ kgm}^2$ i nazivne snage 200 MVA okreće se nazivnom brzinom i u otočnom pogonu napaja lokalnog potrošača. Nazivna frekvencija generatora je 50 Hz. Kolika je konstanta tromosti ovog agregata? Ako se snaga potrošača trenutno poveća za 20 MW koliko iznosi ubrzanje ovog stroja? Koliko iznosi brzina ovog stroja nakon 1 sekunde ako je turbinski regulator u kvaru? Kolika je frekvencija napona nakon 1 sekunde? Računati s baznom snagom jednakom nazivnoj snazi stroja. (4 boda)

Zadatak 2

Jednostavan dinamički model AC mikromreže (50 Hz) u otočnom pogonu prikazan je na slici ispod. Mikromreža se sastoji od sinkronog hidroagregata te baterije koja pomaže u regulaciji frekvencije. Parametri sustava su: $H = 3 \text{ s}$; $D = 1 \text{ p.u.}$; $K_1 = 24 \text{ p.u.}$; $T_1 = 0.5 \text{ s}$; $T_2 = 5 \text{ s}$; $T_3 = 50 \text{ s}$; $K_2 = 10 \text{ p.u.}$; $T_r = 1 \text{ s}$; $T_b = 0.02 \text{ s}$. Prije nastanka poremećaja, hidroagregat je radio na 50% nazivne snage, dok je baterija bila u praznom hodu. Ako se snaga potrošnje naglo poveća za 0.1 p.u., potrebno je izračunati:

- novu frekvenciju sustava u stacionarnom stanju nakon poremećaja;
- novu snagu koju baterija daje u mrežu ili uzima iz mreže u stacionarnom stanju nakon poremećaja;
- novu snagu proizvodnje hidroagregata u stacionarnom stanju nakon poremećaja.

(6 bodova)



Zadatak 3

Tri sustava rade paralelno. Snage proizvodnje i potrošnje u sustavima su zadani u tablici ispod. Što će se dogoditi ako se istodobno smanji potrošnja u sustavima 2 i 3 za navedene iznose: $\delta_{l2} = -200 \text{ MW}$; $\delta_{l3} = -275 \text{ MW}$. Odstupanja u ravnoteži proizvodnje i generacije od 10 MW su dopuštena. Izračunati konačno stanje u svim sustavima te sva međustanja koja sustavi prolaze prije novog konačnog stacionarnog stanja. Svi sustavi jednako sudjeluju u sekundarnoj regulaciji. (5 bodova)

Proizvodnja		Potrošnja	
Snaga	Regulacijska energija	Snaga	Regulacijska energija
$P_{g1} = 400 \text{ MW}$	$K_{g1} = 150 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$	$P_{l1} = 200 \text{ MW}$	$K_{l1} = 50 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$
$P_{g2} = 350 \text{ MW}$	$K_{g2} = 250 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$	$P_{l2} = 300 \text{ MW}$	$K_{l2} = 100 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$
$P_{g3} = 550 \text{ MW}$	$K_{g3} = 300 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$	$P_{l3} = 800 \text{ MW}$	$K_{l3} = 100 \frac{\text{MW}}{\text{Hz}}$

Zadatak 4

Dva asinkrona motora opterećena nazivnim snagama ($P_{n1} = 3.5 \text{ MW}$, $\cos \varphi_1 = 0.81$, $\eta_1 = 0.82$, $P_{n2} = 4.0 \text{ MW}$, $\cos \varphi_2 = 0.80$, $\eta_2 = 0.84$) paralelno su priključena na zajedničke sabirnice u mreži nazivnog napona 1 kV. Potrebno je izračunati ukupnu struju koja teče iz mreže prema sabirnicama na koje su motori priključeni te $\cos \varphi$ na predmetnim sabirnicama. Koliku kondenzatorsku bateriju treba paralelno priključiti na motorske sabirnice da bi na njima $\cos \varphi$ iznosio 0.95?

Zašto se kompenzira do tog iznosa $\cos \phi$?

(2 boda)

Zadatak 5

Odgovorite na pitanja ispod, te obrazložite svoje odgovore.

- Definirajte i objasnite što su to ROCOF i nadir. Skicirajte na primjeru za ispad proizvodnje.
- Dva stroja sa istim nazivnim snagama imaju različite konstante tromosti $H_1 > H_2$. Ako su oba stroja izložena istom poremećaju, koji stroj će imati veću akceleraciju?
- Dva stroja s istim nazivnim snagama imaju konstante tromosti $H_1 = 2H_2$. Ako je prvi stroj izložen dva puta većem poremećaju nego drugi stroj, koji stroj će imati manju akceleraciju?
- Označiti i obrazložiti koja od navedenih trošila imaju regulacijsku energiju: perilica rublja, televizor, električna grijalica, industrijski motor, žarulja sa žarnom niti, stropni ventilator.

(4 boda)

Zadatak 6

Nacrtati i opisati idejnu shemu automatske regulacije frekvencije s jednom elektranom koja ima dva agregata te nacrtati i opisati shemu koja prikazuje razine P-f regulacije sa svim ulaznim i izlaznim varijablama pojedine razine. (2 boda)

Zadatak 7

Skicirajte blokovsku shemu matematičkog modela turbinske regulacije za vodne turbine. Označite sve relevantne vrijednosti. Definirajte osnovnu hidrodinamičku jednadžbu dovodnog sustava. Koje su glavne pretpostavke. Označite sve korištene veličine. Kako ona glasi u Laplaceovom sustavu? (3 boda)

Zadatak 8

Navedite elemente koji se proračunavaju/procjenjuju prilikom projektiranja sustava podfrekvencijskog rasterećenja. Skicirajte i objasnite utjecaj veličine poremećaja i statičnosti na a) maksimalno odstupanje frekvencije, b) početnu brzinu promjene, c) vrijednost frekvencije nakon poremećaja i d) vrijeme za postizanje novog stacionarnog stanja.

(2 boda)

Zadatak 9

Opišite regulaciju napona sinkronog generatora. Skicirajte blokovsku shemu i označite regulacijske krugove i ulazne veličine.

(2 boda)

1. ZADATAK

$$p = 24$$

$$J = 9,35 \cdot 10^6 \text{ kgm}^2$$

$$S_n = 200 \text{ MVA}$$

$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$H = ?$$

$$\Delta P = 20 \text{ MW}$$

$$\frac{dw}{dt} = ?$$

$$t = 1 \text{ s}$$

$$\omega = ?$$

$$S_n = S_B$$

$$H = \frac{J \omega_m^2}{2 S_n} = \frac{J \left(2\pi \frac{f}{p} \right)^2}{2 S_n} =$$

$$= \frac{9,35 \cdot 10^6 \left(2\pi \frac{50}{24} \right)^2}{2 \cdot 200 \text{ M}} = 4 \text{ s}$$

$$2H \frac{d\omega}{dt} = -\Delta P$$

(snaga potrošača se povećala, stoga ide minus)

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{-\Delta P}{2H}$$

$$\frac{\Delta P}{S_n} = \frac{20 \text{ M}}{200 \text{ M}} = 0,1 \text{ p.u.}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{-0,1}{2 \cdot 4} = -0,0125 \frac{\text{pu}}{\text{s}}$$

$$\frac{d\omega_{el}}{dt} = -0,0125 \frac{\text{pu}}{\text{s}} \cdot (2\pi f) \cdot \frac{180}{\pi} = -225^\circ \text{el/s}^2 = 3,927 \text{ rad/s}^2$$

$$\frac{d\omega_{meh}}{dt} = \frac{1}{p} \cdot \frac{d\omega_{el}}{dt} = \frac{-225}{24} = -9,375 \frac{^\circ \text{meh}}{\text{s}^2}$$

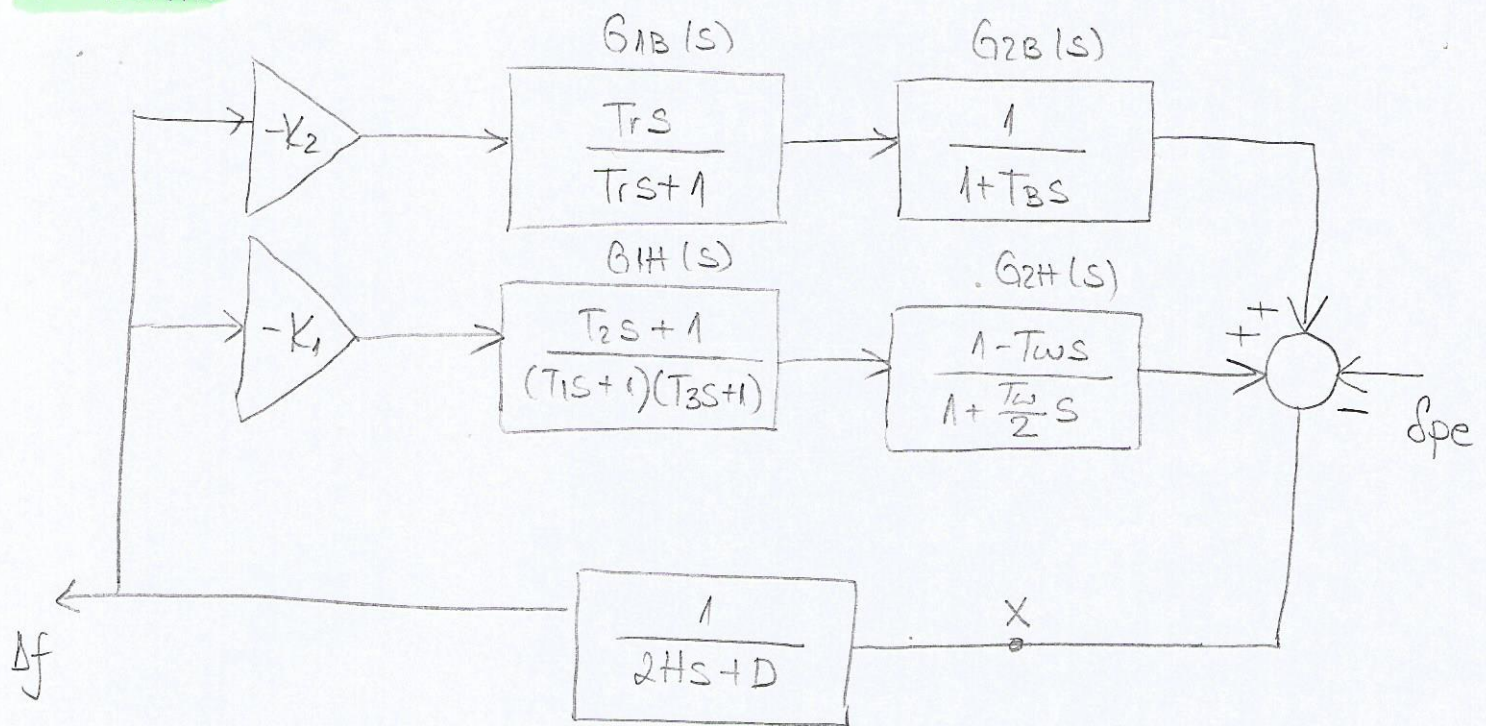
$$\Delta \omega_{el} = \int_0^1 \frac{P_m - P_e}{2H} dt = -0,0125 \frac{\text{pu}}{\text{s}} \rightarrow 3,927 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_e^2 = \omega_0 - \Delta \omega = 2\pi f - \Delta \omega = 314 - 3,927 = 310,093 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_m^2 = \frac{\omega_e^2}{p} = 12,9197 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

M1 2019/2020

2. ZADATK



$$H = 3s$$

$$D = 1 \text{ pu}$$

$$K_1 = 24 \text{ pu}$$

$$T_1 = 0,5s$$

$$T_2 = 5s$$

$$T_3 = 50s$$

$$K_2 = 10 \text{ pu}$$

$$T_r = 1s$$

$$T_b = 0,02s$$

$$H = 0,5 \text{ Sn}$$

$$B = \text{diazni hod}$$

$$\delta pe = -0,1 \text{ p.u.}$$

a) $f_{\infty} = ?$

$$X = \Delta f (2HS + D)$$

$$X = \Delta f (-K_2) G_{1B}(s) G_{2B}(s) + \Delta f (-K_1) G_{1H}(s) G_{2H}(s) - \delta pe$$

$$\left. \begin{array}{l} X = X \end{array} \right\}$$

$$\Delta f (2HS + D) = \Delta f [-K_2 G_{1B} G_{2B} - K_1 G_{1H} G_{2H}] - \delta pe$$

$$\Delta f [2HS + D + K_1 G_{1H} G_{2H} + K_2 G_{1B} G_{2B}] = -\delta pe$$

$$\Delta f = \frac{\delta pe}{2HS + D + K_2 G_{1B} G_{2B} + K_1 G_{1H} G_{2H}}$$

$$\Delta f (t \rightarrow \infty) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\frac{\delta pe}{s}}{2Hs + D + K_2 \underbrace{G_{1B} G_{2B}}_{=0} + K_1 \underbrace{G_{1H} G_{2H}}_1} = \frac{\delta pe}{D + K_1}$$

$$\Delta f (t \rightarrow \infty) = \frac{0,1}{1 + 24} = -0,004 \text{ pu} / 50 \text{ Hz}$$

$$\Delta f (t \rightarrow \infty) = -0,2 \text{ Hz}, \quad f' = f_0 + \Delta f = 50 - 0,2 = 49,8 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned}
 b) \quad \Delta P_{B,\infty} &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Delta P_B(s) \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \Delta f_{\infty}(s) G_{1B}(s) G_{2B}(s) (-K_2) \\
 &= \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{-0,004}{s} \overset{0}{G_{1B}(0)} G_{2B}(0) (-K_2) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$c) \quad s \rightarrow 0: G_{1H}(0) = 1 \quad G_{2H}(0) = 1 \quad \underline{K_1}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{H,\infty} &= \Delta f_{\infty} (-K_1) \\
 &= -0,004 (-24) \\
 &= +0,096 \text{ p.u.}
 \end{aligned}$$

$$P_H(0) = 0,5 \text{ p.u.} \quad (\text{iz zadatka } 0,5 S_n)$$

$$\begin{aligned}
 P_H(\infty) &= P_H(0) + \Delta P_{H,\infty} \\
 &= 0,5 + 0,096 \\
 &= 0,596 \text{ p.u.}
 \end{aligned}$$

3. ZADATAK

PROIZVODNJA		POTROŠNJA	
Snaga [MW]	Reg.en. [MW/Hz]	Snaga [MW]	Reg.en. [MW/Hz]
$P_{g1} = 400$	$K_{g1} = 150$	$P_{e1} = 200$	$K_{e1} = 50$
$P_{g2} = 350$	$K_{g2} = 250$	$P_{e2} = 300$	$K_{e2} = 100$
$P_{g3} = 550$	$K_{g3} = 300$	$P_{e3} = 800$	$K_{e3} = 100$

- sustavi rade paralelno
- smanji se potrošnja $\delta P_{e2} = -200 \text{ MW}$ (Smanjila se potrošnja \rightarrow frekvencija se povećala)
- svi sustavi jednako sudjeluju u sek. regul.

$$\Delta f(t \rightarrow \infty) = \frac{\delta P_{pm} - \delta P_e}{\sum K_e + \sum K_g} = \frac{0 - (-200 - 275)}{250 + 700} = +0,5 \text{ Hz}$$

$$\Delta P_{g1} = -K_{g1} \Delta f = -150 \cdot 0,5 = -75 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{g2} = -K_{g2} \Delta f = -250 \cdot 0,5 = -125 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{g3} = -K_{g3} \Delta f = -300 \cdot 0,5 = -150 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e1} = K_{e1} \Delta f = 50 \cdot 0,5 = 25 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e2} = K_{e2} \Delta f = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e3} = K_{e3} \Delta f = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ MW}$$

$$P_{g1}' = P_{g1} + \Delta P_{g1} + \delta P_{g1} = 400 - 75 + 0 = 325 \text{ MW}$$

$$P_{g2}' = P_{g2} + \Delta P_{g2} + \delta P_{g2} = 350 - 125 + 0 = 225 \text{ MW}$$

$$P_{g3}' = P_{g3} + \Delta P_{g3} + \delta P_{g3} = 550 - 150 + 0 = 400 \text{ MW}$$

$$P_{e1}' = P_{e1} + \Delta P_{e1} + \delta P_{e1} = 200 + 25 + 0 = 225 \text{ MW}$$

$$P_{e2}' = P_{e2} + \Delta P_{e2} + \delta P_{e2} = 300 + 50 - 200 = 150 \text{ MW}$$

$$P_{e3}' = P_{e3} + \Delta P_{e3} + \delta P_{e3} = 800 + 50 - 275 = 575 \text{ MW}$$

$$\sum P_{g'} = \sum P_{e'} \quad 950 = 950$$

Sekundarna regulacija

$$\Delta f' = -0,5 \text{ Hz}$$

- sva 3 sustava jednako sudjeluju

$$\Delta P = -200 - 275 = -475 / 3 = -158,33 \text{ MW}$$

Svi smanje proizvodnju.

$$\Delta P_{g1}' = -K_{g1} \Delta f' = -150 (-0,5) = 75 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{g2}' = -K_{g2} \Delta f' = -250 (-0,5) = 125 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{g3}' = -K_{g3} \Delta f' = -300 (-0,5) = 150 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e1}' = K_{e1} \Delta f' = 50 (-0,5) = -25 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e2}' = K_{e2} \Delta f' = 100 (-0,5) = -50 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{e3}' = K_{e3} \Delta f' = 100 (-0,5) = -50 \text{ MW}$$

$$P_{g1}'' = P_{g1}' + \Delta P_{g1}' + \delta P_{g1}' = 325 + 75 - 158,33 = 242 \text{ MW}$$

$$P_{g2}'' = P_{g2}' + \Delta P_{g2}' + \delta P_{g2}' = 225 + 125 - 158,33 = 192 \text{ MW}$$

$$P_{g3}'' = P_{g3}' + \Delta P_{g3}' + \delta P_{g3}' = 400 + 150 - 158,33 = 392 \text{ MW}$$

$$P_{e1}'' = P_{e1}' + \Delta P_{e1}' + \delta P_{e1}' = 225 - 25 + 0 = 200 \text{ MW}$$

$$P_{e2}'' = P_{e2}' + \Delta P_{e2}' + \delta P_{e2}' = 150 - 50 + 0 = 100 \text{ MW}$$

$$P_{e3}'' = P_{e3}' + \Delta P_{e3}' + \delta P_{e3}' = 575 - 50 + 0 = 525 \text{ MW}$$

$$\Sigma P_g'' = \Sigma P_e'' \rightarrow \underline{\underline{826 \approx 825}}$$

4. ZADATAK

$$P_{n1} = 3,5 \text{ MW} \quad \cos \varphi_1 = 0,81, \quad \eta_1 = 0,82$$

$$P_{n2} = 4,0 \text{ MW} \quad \cos \varphi_2 = 0,80, \quad \eta_2 = 0,84$$

$$U_n = 1 \text{ kV}$$

$$I = ? \quad \cos \varphi' = 0,95 \rightarrow Q_{KB} = ?$$

$$P_{e1} = \frac{P_{n1}}{\eta_1} = \frac{3,5 \text{ M}}{0,82} = 4,26 \text{ MW}$$

$$P_{e2} = \frac{P_{n2}}{\eta_2} = \frac{4,0 \text{ M}}{0,84} = 4,76 \text{ MW}$$

$$P_{uk} = P_{e1} + P_{e2}$$

$$= 4,26 + 4,76$$

$$= 9,02 \text{ MW}$$

$$Q_{uk} = P_{e1} \tan \varphi_1 + P_{e2} \tan \varphi_2$$

$$= 4,26 \tan (\arccos 0,81) + 4,76 \tan (\arccos 0,8) =$$

$$= 4,26 \tan (\arccos 0,81) + 4,76 \tan (\arccos 0,8) =$$

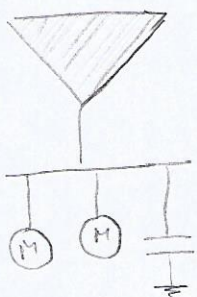
$$= 6,65 \text{ MVAR}$$

$$\tan \varphi = \frac{P_{uk}}{Q_{uk}}, \quad \cos \varphi = \cos \left[\arctan \frac{Q_{uk}}{P_{uk}} \right] = \cos \left[\arctan \frac{6,65}{9,02} \right] = 0,805$$

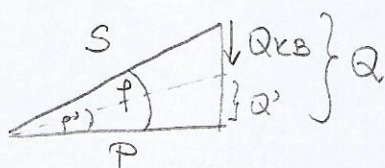
$$S = P_{uk} + j Q_{uk}$$

$$||S|| = \sqrt{P_{uk}^2 + Q_{uk}^2} = \sqrt{3} ||U|| ||I||$$

$$||I|| = \frac{||S||}{\sqrt{3} ||U||} = \frac{\sqrt{P_{uk}^2 + Q_{uk}^2}}{\sqrt{3} ||U||} = \frac{\sqrt{9,02^2 + 6,65^2} (\text{M})}{\sqrt{3} \cdot 1 \text{ k}} = 6,47 \text{ kA}$$



$$\cos \varphi = 0,593 \rightarrow \cos \varphi' = 0,95$$



$$\tan \varphi' = \frac{Q'}{P} \rightarrow Q' = P \cdot \tan \varphi'$$

$$Q' = P \cdot \tan \varphi' = 9,02 \cdot \tan (\arccos 0,95) = 2,96 \text{ MVAR}$$

$$Q_{KB} = Q - Q' = 6,65 - 2,96 = 3,69 \text{ MVAR}$$