

8. Příklady z řízení a regulace f , P , A , U , Q

Př. 8.1.

Vypočítat odchylku kmitočtu, je-li činitel statiky soustavy $s_s = 15\%$ a vý-
padek zatížení soustavy $\frac{\Delta P}{P_n} = 10\%$.

$$\Delta f = \frac{s_s \cdot \Delta P \cdot f_n}{P_n \cdot 100} = \frac{15 \cdot 10}{100} \cdot f_n = 1,5\% f_n, \text{ tj. } 0,75 \text{ Hz}$$

Př. 8.2.

Vypočítat výkonové číslo soustavy K_s , je-li dáno zatížení soustavy $P_s = 2500 \text{ MW}$ a odchylka kmitočtu činí $0,75 \text{ Hz}$

$$K_s = \left| - \frac{2500}{0,75} \right| = 3125 \text{ MW/Hz}$$

Př. 8.3.

Předpokládejme v soustavě dovolenou odchylku kmitočtu $\pm 0,1 \text{ Hz}$, činitel sta-
tiky strojů $s_g = 5\%$. Aby se kmitočet soustavy udržel ve zvolených mezích, nesmě-
ly by výkonové změny přestoupit hodnotu vyjádřenou v poměrných hodnotách:

$$\Delta P = \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \frac{1}{s_g} P_n = \frac{0,002}{1} \cdot \frac{1}{0,05} = 0,04 P_n$$

Skutečné změny zatížení v soustavě jsou mnohem větší.

Př. 8.4.

Určit výkonové číslo zatížení K_z , výkonový součinitel k_z , pro danou sousta-
vu. Je dáno: $P_{zn} = 6000 \text{ MW}$, naměřeno $\Delta P_z = 270 \text{ MW}$

$$\Delta f = 0,45 \text{ Hz}$$

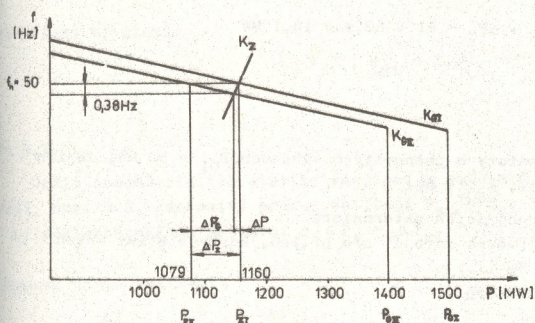
$$K_z = \frac{\Delta P_z}{\Delta f} = \frac{270}{0,45} = 600 \text{ MW/Hz}$$

$$k_z = \frac{\frac{\Delta P_z}{P_{zn}}}{\frac{\Delta f}{f_n}} = \frac{\Delta P_z \cdot f_n}{P_n \cdot \Delta f} = \frac{270 \cdot 50}{6000 \cdot 0,45} = 5$$

$$s_z = \frac{1}{k_z} = \frac{1}{5} \cdot 100 = 20\%$$

Př. 8.5.

V soustavě s jmenovitým výkonem výroben $P_G = 1500$ MW a se zatížením $P_{zI} = 1160$ MW se rázem vypne stroj, jehož jmenovitý výkon je $\Delta P_G = 100$ MW, který dodával do sítě $\Delta P_z = 81$ MW. Pokles kmitočtu v síti je $\Delta f = 0,38$ Hz. Charakter připojených spotřebičů v síti je dán statikou zatížení $s_z = 48\%$ (viz obr. 8-1).



Obr. 8-1

Výkonové číslo soustavy:

$$K_s = \left| \frac{\Delta P}{\Delta f} \right| = \frac{81}{0,38} = 213,5 \text{ MW/Hz}$$

Činitel statiky soustavy:

$$s_s = \frac{P_{GII}}{K_s \cdot f_n} = \frac{1400}{213,5 \cdot 50} \cdot 100 = 13,1\%$$

Statika turbogenerátorů se určí úpravou vztahu

$$P_{GII} = P_{Gn} - P_G$$

$$s_s = \frac{s_g \cdot s_z}{s_z + \frac{1}{z} \cdot s_g}$$

$$s_s \left(s_z + \frac{1}{z} \cdot s_g \right) = s_g \cdot s_z$$

$$s_g = \frac{s_s \cdot s_z}{s_z - \frac{1}{z} s_s} = \frac{13,1 \cdot 48}{48 - \frac{13,1}{1,20}} = 16,9\%$$

Činitel rezervy při výpadku:

$$z = \frac{P_{GII}}{P_{zI}} = \frac{1400}{1160} = 1,20$$

Výkonové číslo alternátorů:

$$K_G = \frac{P_{GII}}{s_g \cdot f_n} = \frac{1400}{0,169 \cdot 50} = 165,5 \text{ MW/Hz}$$

Výkonové číslo zátěže:

$$K_z = \frac{P_{zI}}{s_z \cdot f_n} = \frac{1160}{0,48 \cdot 50} = 48 \text{ MW/Hz}$$

Přírůstek výkonu:

$$P_G = K_G \cdot \Delta f = 165,5 \cdot 0,38 = 62,9 \text{ MW}$$

Regulační efekt zátěže:

$$|\Delta P| = \Delta P_z - \Delta P_G = 81 - 62,9 = 18,1 \text{ MW}$$

Př. 8.6.

Do sítě pracují tři alternátory o jmenovitých výkonech $P_{G1} = 50 \text{ MW}$. Jejich statiky jsou: $s_{g1} = 4\%$; $s_{g2} = 5\%$; $s_{g3} = 6\%$.

Určete: a) Statiku paralelně pracujících alternátorů

b) Statiku alternátorů (všech zdrojů) pro případ, kdyby statiky všech tří regulátorů byly 5%

c) Výkonová čísla alternátorů

a) Statika výrobního systému

$$s_g = \frac{\sum_{i=1}^3 P_{Gi}}{\sum_{i=1}^3 \frac{P_{Gi}}{s_{Gi}}} = \frac{50 + 50 + 50}{\frac{50}{0,04} + \frac{50}{0,05} + \frac{50}{0,06}} \cdot 100 = 4,87\%$$

b) $s_g = s_{g1}$ - jak plyne z výpočtu

$$s_g = \frac{150 \cdot 100}{3 \cdot \frac{50}{0,05}} = 5\%$$

c) pro případ a) platí:

$$K_G = \left| \frac{\Delta P_G}{\Delta f} \right| = \frac{P_{Gn}}{s_G \cdot f_0}$$

$$K_{G1} = \frac{50}{0,04 \cdot 50} = 25 \text{ MW/Hz}$$

$$K_{G2} = \frac{50}{0,05 \cdot 50} = 20 \text{ MW/Hz}$$

$$K_{G3} = \frac{50}{0,06 \cdot 50} = 16,6 \text{ MW/Hz}$$

$$K_G = K_{G1} + K_{G2} + K_{G3} = 25 + 20 + 16,6 = 61,6 \text{ MW/Hz}$$

kontrola:

$$K_G = \frac{150}{0,0487 \cdot 50} = 61,6 \text{ MW/Hz}$$

pro případ b) platí:

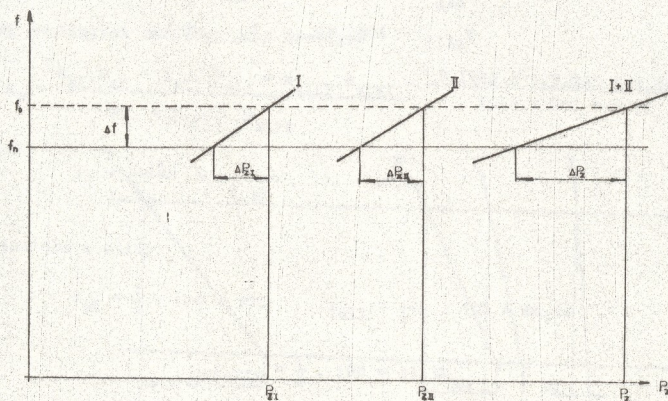
$$K_G = 3 \cdot K_{G1} = 3 \cdot 20 = 60 \text{ MW/Hz}$$

ř. 8.7.

Určit obecně činitel statiky zatížení v soustavě, která se skládá ze dvou částí, obr. 8-2. Jmenovitý příkon zatížení $P_{zn} = P_{zI} + P_{zII}$. Při poklesu kmitočtu o Δf poklesne příkon zatížení o $\Delta P_z = \Delta P_{zI} + \Delta P_{zII}$.

Výkonové číslo zatížení:

$$K_z = \frac{\Delta P_z}{\Delta f} = \frac{\Delta P_{zI}}{\Delta f} + \frac{\Delta P_{zII}}{\Delta f} = K_{zI} + K_{zII}$$



STATICKÉ KMITOČTOVÉ CHARAKTERISTIKY ZÁTĚŽE

Obr. 8-2

činitel statiky zatížení odvodíme:

$$\Delta P_z = \Delta P_{zI} + \Delta P_{zII} = \frac{\Delta f}{f_n} \frac{P_{zI}}{s_{zI}} + \frac{\Delta f}{f_n} \frac{P_{zII}}{s_{zII}} = \frac{\Delta f}{f_n} \left(\frac{P_{zI}}{s_{zI}} + \frac{P_{zII}}{s_{zII}} \right)$$

$$\frac{\Delta P_s}{P_{sn}} = \frac{\frac{\Delta f}{f_n} \left(\frac{P_{sI}}{s_{sI}} + \frac{P_{sII}}{s_{sII}} \right)}{P_{sn}}$$

$$s_s = \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \frac{\Delta P_s}{P_{sn}} = \frac{P_{sn}}{\frac{P_{sI}}{s_{sI}} + \frac{P_{sII}}{s_{sII}}}$$

$$s_s = \frac{\sum_{i=1}^n P_{si}}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{si}}{s_{si}}}$$

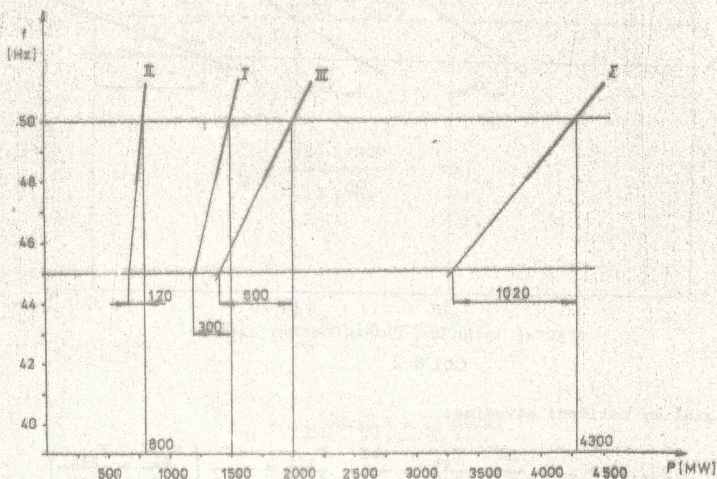
Pr. 8.8.

V částech velké soustavy bylo naměřeno: (viz obr. 8-3)

$$P_{sI} = 1500 \text{ MW}; \quad k_{sI} = 2$$

$$P_{sII} = 800 \text{ MW}; \quad k_{sII} = 1,5$$

$$P_{sIII} = 2000 \text{ MW}; \quad k_{sIII} = 3$$



SOUČTOVÁ A DÍLČÍ KMITOČTOVÉ CHARAKTERISTIKY

Obr. 8-3

Výsledná statika celé soustavy

$$s_z = \frac{\sum P_{z1}}{\sum \frac{P_{z1}}{s_{z1}}} = \frac{1500 + 800 + 2000}{1500 \cdot 2 + 800 \cdot 1,5 + 2000 \cdot 3} \cdot 100 = 42,2\%$$

Výkonová čísla se vypočtou dle pravou vztahu:

$$K_z = \frac{\Delta P_z}{P_{zn}} \cdot \frac{f_n}{\Delta f} \Rightarrow K_z = \frac{\Delta P_z}{\Delta f} = \frac{k_z \cdot P_{zn}}{f_n} = \frac{P_{zn}}{s_z \cdot f_n}$$

$$K_{zI} = \frac{1500 \cdot 2}{50} = 60 \text{ MW/Hz}$$

$$K_{zII} = \frac{800 \cdot 1,5}{50} = 24 \text{ MW/Hz}$$

$$K_{zIII} = \frac{2000 \cdot 3}{50} = 120 \text{ MW/Hz}$$

$$K_z = \sum_z K_{z1} = 60 + 24 + 120 = 204 \text{ MW/Hz}$$

Výkonový součinitel zatížení celé soustavy

$$k_z = \frac{k_{zI} \cdot P_{zI} + k_{zII} \cdot P_{zII} + k_{zIII} \cdot P_{zIII}}{P_{zI} + P_{zII} + P_{zIII}} = \frac{2 \cdot 1500 + 1,5 \cdot 800 + 3 \cdot 2000}{1500 + 800 + 2000} = 2,37$$

Kontrola:

$$s_z = \frac{1 \cdot 100}{k_z} = \frac{1}{2,37} \cdot 100 = 42,2\%$$

Číselní limitér statiky:

$$s_{zI} = \frac{1}{2} \cdot 100 = 50\%$$

$$s_{zII} = \frac{1}{1,5} \cdot 100 = 66,6\%$$

$$s_{zIII} = \frac{1}{3} \cdot 100 = 33,3\%$$

Charakteristiky zatížení jsou vypočteny z výkonových čísel zatížení pro pokles kmitočtu $\Delta f = 5 \text{ Hz}$.

$$\Delta P_{zI} = K_{zI} \Delta f = 60 \cdot 5 = 300 \text{ MW}$$

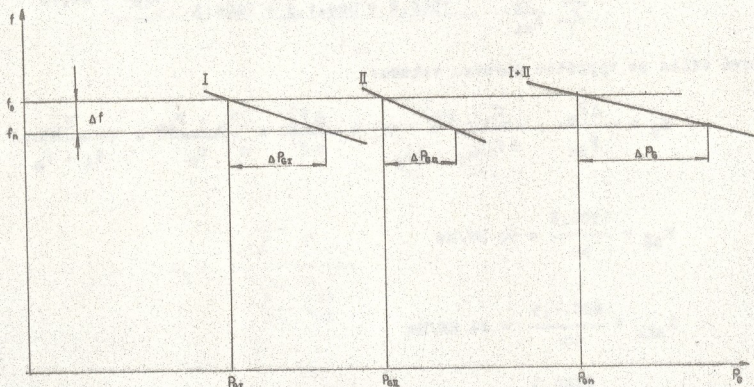
$$\Delta P_{zII} = K_{zII} \Delta f = 24 \cdot 5 = 120 \text{ MW}$$

$$\Delta P_{zIII} = K_{zIII} \Delta f = 120 \cdot 5 = 600 \text{ MW}$$

$$\Delta P_z = K_z \Delta f = \sum_{i=1}^3 K_{z1} \cdot \Delta f = 204 \cdot 5 = 1020 \text{ MW}$$

Př. 8.9.

Určit obecně činitel statiky dvou paralelně pracujících alternátorů (viz obr. 8-4).



SOUČTOVÁ A DÍLČÍ KMITOČTOVÉ CHARAKTERISTIKY ALTERNÁTORŮ
Obr. 8-4

Součtový jmenovitý výkon alternátorů:

$$P_{Gn} = P_{GI} + P_{GII}$$

Přírůstek výkonu jednotlivých alternátorů:

$$\Delta P_G = \Delta P_{GI} + \Delta P_{GII}$$

Výkonové číslo alternátorů

$$K_G = - \frac{\Delta P_G}{\Delta f} = - \frac{\Delta P_{GI}}{\Delta f} - \frac{\Delta P_{GII}}{\Delta f} = K_{GI} + K_{GII}$$

Dále pro ΔP_G platí:

$$\Delta P_G = \Delta P_{GI} + \Delta P_{GII} = - \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \frac{P_{GI}}{s_{GI}} - \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \frac{P_{GII}}{s_{GII}} =$$

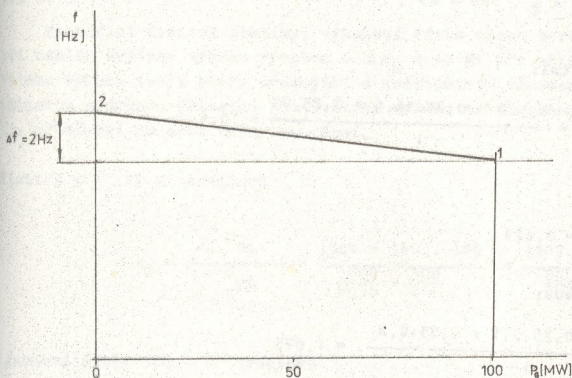
$$= - \frac{\Delta f}{f_n} \left(\frac{P_{GI}}{s_{GI}} + \frac{P_{GII}}{s_{GII}} \right)$$

$$\frac{\Delta P_G}{P_{Gn}} = - \frac{\frac{\Delta f}{f_n} \left(\frac{P_{GI}}{s_{GI}} + \frac{P_{GII}}{s_{GII}} \right)}{P_{Gn}}$$

Činitel statiky alternátorů

$$s_G = - \frac{\Delta f}{f_n} : \frac{\Delta P_G}{P_{Gn}} = - \frac{P_{Gn}}{\frac{P_{GI}}{s_{GI}} + \frac{P_{GII}}{s_{GII}}}$$

Př. 8.10.



KMITOČTOVÁ CHARAKTERISTIKA TURBOGENERÁTORU 100 MW

Obr. 8-5

Nakreslit kmitočtovou charakteristiku alternátoru $P_{Gn} = 100$ MW, činitel statiky $s_G = 4\%$ (viz obr. 8-5).

Výkonové číslo alternátoru:

$$K_G = - \frac{P_n}{s_G \cdot f_n} =$$

$$= \left| \frac{100}{0,04 \cdot 50} \right| =$$

$$= 50 \text{ MW/Hz}$$

Výkonový součinitel alternátoru

$$k_G = \frac{1}{s_G} = \frac{1}{4} \cdot 100 = 25$$

Průběh statické charakteristiky alternátorů získáme takto: Pro výkon $P_{Gn} = 100$ MW bude kmitočet f v bodě 1. Při úplném odlehčení $P_{Gn} = 0$, $\Delta P_G = 100$ MW se zvýší kmitočet:

$$\Delta f = \frac{\Delta P_G}{K_G} = \frac{100}{25} = 2 \text{ Hz}$$

Dostaneme tím druhý bod statické charakteristiky (bod 2).

Př. 8.11.

V soustavě pracuje 50% výkonu elektráren s plným zatížením, 25% výkonu v parních elektrárnách se statikou 6% pracuje s 90% zatížením, 25% výkonu dodávaného z vodních elektráren se statikou 4% pracuje s 80% zatížením. Je třeba určit velikosti jednotlivých regulačních součinitelů alternátorů, výsledný regulační součinitel alternátorů a činitele statiky alternátorů. Veškeré změny výkonu na sebe přebírají druhá a třetí skupina elektráren; první skupina pracuje se stálým zatížením.

Plně zatížené elektrárny mají výkonový regulační součinitel

$$k_{G1} = 0$$

$$k_{G2} = \frac{1}{s_{G2}} \cdot 100 = \frac{1}{6} \cdot 100 = 16,6$$

$$k_{G3} = \frac{1}{s_{G3}} \cdot 100 = \frac{1}{4} \cdot 100 = 25$$

Výsledný regulační součinitel:

$$k_{Gv} = \frac{\sum P_{ni} \cdot k_{Gi}}{\sum P_{ni}} = \frac{0,5 \cdot 0 + 0,25 \cdot 16,6 + 0,25 \cdot 25}{1} = 10,4$$

Výsledný činitel statiky

$$s_{Gv} = \frac{1}{k_{Gv}} = \frac{1 \cdot 100}{10,4} = 9,62\%$$

Zajištění regulačního výkonu:

$$\int = \frac{1 + 0,5 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0,1 + 0,25 \cdot 0,2}{1} = 1,075$$

Př. 8.12.

Jmenovitý výkon elektrárny s turboalternátory, které jsou v provozu $P_{Gn} = 1000$ MW. Činitel statiky všech regulátorů $s_G = 5\%$. Je třeba určit činitel statiky, výkonové číslo všech zdrojů (alternátorů) a odchylku kmitočtu při náhlém zvýšení výkonu o $\Delta P_G = 40$ MW. Činitel statiky alternátorů

$$s_G = \frac{\sum P_{Gi}}{\sum \frac{P_{Gi}}{s_{Gi}}} = \frac{\sum P_{Gi}}{\sum P_{Gi}} = s_{Gi} = 5\%$$

Výkonové číslo všech alternátorů

$$K_G = \left| \frac{\Delta P_G}{\Delta f} \right| = \frac{P_{Gn}}{f_n \cdot s_G} = \frac{1000}{50 \cdot 0,05} = 400 \text{ MW/Hz}$$

Odchylka kmitočtu při odlehčení

$$\Delta f = \frac{\Delta P_G}{P_{Gn}} \cdot x_p = \frac{\Delta P_G}{P_{Gn}} \cdot s_G \cdot f_n = \frac{40}{1000} \cdot 0,05 \cdot 50 = 0,1 \text{ Hz}$$

x_p ... pásmo proporcionality, kterou stanovíme za předpokladu, že změna výkonu

se rovná výkonu jmenovitému

$$s_G = \frac{\Delta f}{f_n} \cdot \frac{P_{Gn}}{P_G} \Rightarrow \Delta f = s_G \cdot f_n \cdot \frac{\Delta P_{Gn}}{P_{Gn}}$$

Př. 8.13.

Vypočítat činitel statiky, výkonové číslo všech zdrojů a odchylku kmitočtu při náhlém zvýšení výkonu výroben o $\Delta P_G = 40$ MW pro případ, že polovinu jmenovitého výkonu tvoří bloky pracující s konstantním výkonem nezávislým na změnách kmitočtu a druhou polovinu jmenovitého výkonu tvoří bloky se sekundární regulací, tj. přebírají na sebe změny zatížení.

Činitel statiky alternátorů

$$s_G = \frac{\sum P_{G1}}{\sum \frac{P_{G1}}{s_{G1}}} = \frac{(500 + 500) \cdot 100}{\frac{500}{0,05} + \frac{500}{\infty}} = \frac{1000 \cdot 100}{\frac{500}{0,05}} = 10\%$$

Výkonové číslo všech alternátorů

$$K_G = \left| \frac{\Delta P_G}{\Delta f} \right| = \frac{P_{Gn}}{f_n \cdot s_G} = \frac{1000}{50 \cdot 0,1} = 200 \text{ MW/Hz}$$

Odchylka kmitočtu

$$\Delta f = \frac{\Delta P_G}{K_G} = \frac{40}{200} = 0,2 \text{ Hz}$$

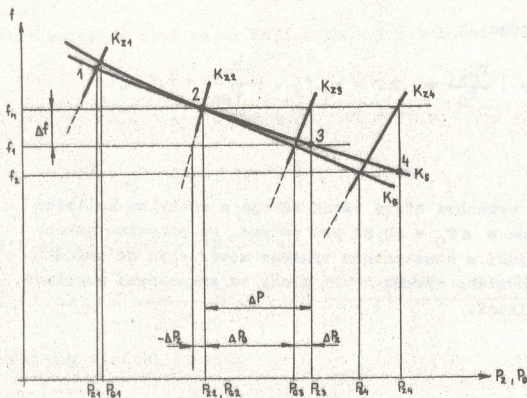
Př. 8.14.

Nakreslit kmitočtovou charakteristiku soustavy pro dva případy vzrůstajícího zatížení a pro jeden případ klesajícího zatížení.

Rovnovážný stav předpokládáme v průsečíku charakteristik Z_g a G . Zvětší-li se zatížení soustavy z hodnoty P_{z2} na P_{z3} (charakteristika K_{z3}), poklesne kmitočet soustavy z f_n na f_1 . Výkon alternátorů vzroste jen o hodnotu ΔP_G , neboť došlo k automatickému snížení nároků na příkon zatížení - ΔP_z v důsledku poklesu kmitočtu soustavy o Δf . Pro obnovení rovnováhy je třeba zvětšit výkon alternátorů o hodnotu $+\Delta P_z$. Obdobně postupujeme při zvětšení zatížení z hodnoty P_{z2} na P_{z4} (charakteristika K_{z4}) a naopak při snížení zátěže z P_{z2} na P_{z1} (charakteristika K_{z1}). Charakteristika soustavy K_g musí procházet body 1, 2, 3, 4, (obr. 8-6).

Pro změnu zatížení platí:

$$\Delta P = \Delta P_G - \Delta P_z$$



Obr. 8-6

$$K_s = - \left(\frac{\Delta P_G}{\Delta f} - \frac{\Delta P_Z}{\Delta f} \right) = K_G + K_s$$

$\Delta P, \Delta P_G \dots$ kladné změny zatížení

$\Delta P_Z \dots$ záporné změny zatížení

Vztah mezi s_s, s_z a s_G

$$\frac{P_{Gn}}{f_n \cdot s_s} = \frac{P_{Gn}}{f_n \cdot s_G} + \frac{P_{zn}}{f_n \cdot s_z}$$

$$s_s = \frac{\frac{P_{Gn}}{f_n}}{\frac{P_{Gn}}{f_n \cdot s_G} + \frac{P_{zn}}{f_n \cdot s_z}} =$$

$$= \frac{\frac{P_{Gn}}{s_G} + \frac{P_{zn}}{s_z}}{\frac{P_{Gn}}{s_G} + \frac{P_{zn}}{s_z}} = \frac{P_{Gn} \cdot s_G \cdot s_z}{P_{Gn} \cdot s_z + P_{zn} \cdot s_G} = \frac{P_{Gn} \cdot s_G \cdot s_z}{P_{Gn} s_z + P_{zn} s_G} = \frac{s_G \cdot s_z}{s_z + s_G}$$

Zavedeme-li činitel rezervy z

$$z = \frac{P_{Gn}}{P_{zn}}$$

pak činitel statiky

$$s_s = \frac{s_G \cdot s_z}{s_z + \frac{1}{z} \cdot s_G}$$

Př. 8.15.

Určit okamžitou nerovnováhu soustavy pracující v propojené soustavě.

$$K_s = 800 \text{ MW/Hz}$$

$$f = 49,7 \text{ Hz}$$

$$P = 500 \text{ MW}$$

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

$$P_p = 410 \text{ MW}$$

$$T = 1$$

$$P' = T \cdot \Delta P - K \cdot \Delta f$$

$$P' = (500 - 410) - 800(49,7 - 50) = 90 + 240 = 330 \text{ MW}$$

Nerovnováha činí 330 MW. V soustavě by mělo být zvýšeno zatížení zdrojů o 330 MW; z toho na vyrovnání předávaných výkonů o 90 MW a na obnovení kmitočtu o 240 MW.

Př. 8.16.

Určit okamžitou nerovnováhu soustavy pracující v propojených soustavách.

$$K_s = 800 \text{ MW/Hz}$$

$$T = 1$$

$$P = 250 \text{ MW}$$

$$f = 49,8 \text{ Hz}$$

$$P_p = 410 \text{ MW}$$

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

$$P' = T \cdot \Delta P - K_s \cdot \Delta f$$

$$P' = (250 - 410) - 800(49,8 - 50) = -160 + 160 = 0$$

Regulační povinnost mají spolupracující soustavy.

Př. 8.17.

Určit okamžitou nerovnováhu soustavy pracující v propojených soustavách.

$$K_s = 800 \text{ MW/Hz}$$

$$T = 1$$

$$P = 250 \text{ MW}$$

$$f = 50,2 \text{ Hz}$$

$$P_p = 410 \text{ MW}$$

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

$$P' = T \cdot \Delta P - K_s \cdot \Delta f$$

$$P' = (250 - 410) - 800(50,2 - 50) = -160 - 160 = -320 \text{ MW}$$

Nerovnováha soustavy činí -320 MW. Soustava má snížit zatížení zdrojů o 320 MW.

Př. 8.18.

V soustavě 2 došlo k vyřazení zdroje o výkonu ΔP . Máme určit okamžitou nerovnováhu jak soustavy 1, tak soustavy 2.

Plánovaný předávaný výkon mezi soustavami je $P_p = 0$. Skutečný předávaný výkon před vyřazením zdroje o výkonu ΔP byl $P = 0$.

Pokles kmitočtu v soustavě bude:

$$\Delta f = \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2}$$

Soustava 1 začne automaticky dodávat výkon do soustavy 2 ve výši:

$$|\Delta P_1| = K_1 \cdot |\Delta f| = K_1 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2}$$

Soustava 2 se bude podílet na vyrovnaní vyřazeného výkonu P výkonem:

$$|\Delta P_2| = K_2 \cdot |\Delta f| = K_2 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2}$$

Pokud nebude působit sekundární regulace, budou okamžité nerovnováhy:

Soustavy 1

$$P'_1 = -K_1 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2} + K_1 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2} = 0$$

$$P'_2 = K_1 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2} + K_2 \frac{|\Delta P|}{K_1 + K_2} = |\Delta P|$$

Soustava 2 má povinnost zvýšit zatížení zdrojů o ΔP .

Př. 8.19.

Soustava má zatížení 500 MW a skladbu určenou poměrnými hodnotami jednotlivých kategorií zatížení:

$$a_0 = 0,2; \quad a_1 = 0,2; \quad a_2 = 0,3; \quad a_3 = 0,3$$

$$K_g = a_1 + 2a_2 + 3a_3 = 0,2 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3$$

$$K_g = 0,2 + 0,6 + 0,9 = 1,7$$

Při změně kmitočtu o 1% se zatížení změní o 1,7%, tj. při změně kmitočtu o 0,5 Hz se zatížení změní o 10,2 MW.

Př. 8.20.

Uvažujme dvě propojené oblasti 1 a 2. Oblast 1 má výkon $P_1 = 800$ MW a sklon přirozené charakteristiky $K_{s1} = 200$ MW/Hz. Oblast 2 má výkon $P_2 = 400$ MW a sklon přirozené charakteristiky $K_{s2} = 160$ MW/Hz. Budeme uvažovat pokles kmitočtu $\Delta f = -0,1$ Hz a uvedené tři případy:

a) Předávaný výkon z oblasti 1 do oblasti 2 stoupl o 20 MW. Odchylka oblasti 1 je

$$\Delta P_1 = \Delta P_g + K_{s1} \Delta f = +20 + 200 \cdot (-0,1) = 0 \text{ MW}$$

Odchylka oblasti 2 je

$$\Delta P_2 = \Delta P_g + K_{s2} \Delta f = -20 + 160 \cdot (-0,1) = -36 \text{ MW}$$

Celá změna zatížení vznikla v oblasti 2. Výroba se má zvýšit jen v oblasti 2, a to 36 MW. Sekundární regulátor v 1 oblasti působit nebude.

b) Předávaný výkon v oblasti 1 do oblasti 2 stoupl o 10 MW. Odchylka oblasti 1 je

$$\Delta P_1 = \Delta P_g + K_{s1} \Delta f = 10 + 200 \cdot (-0,1) = -10 \text{ MW}$$

V oblasti 1 se současně zvětšilo zatížení o 10 MW, a je proto zde nutno sekundární regulací zvětšit výrobu o 10 MW.

Odchylka oblasti 2 je

$$\Delta P_2 = \Delta P_g + K_{s2} \Delta f = -10 - 160 \cdot (-0,1) = -26 \text{ MW}$$

V oblasti 2 se zvětšilo zatížení o 26 MW. Proto je zde nutno sekundární regulací zvětšit výrobu o 26 MW. V tomto případě působí sekundární regulátory v obou oblastech a oba působí zvětšování výroby.

c) Předávaný výkon z oblasti 1 do oblasti 2 stoupl o 30 MW. Odchylka oblasti 1 je

$$\Delta P_1 = \Delta P_g + K_{s1} \cdot \Delta f = +30 + 200 \cdot (-0,1) = +10 \text{ MW}$$

V oblasti 1 se zmenšilo zatížení o 10 MW, a proto je zde nutno sekundární regulací zmenšit výrobu o 10 MW. Odchylka oblasti 2 je

$$\Delta P_2 = \Delta P_g + K_{s2} \cdot \Delta f = -30 + 160 \cdot (-0,1) = -46 \text{ MW}$$

V oblasti 2 se zvětšilo zatížení o 46 MW, proto je zde nutno sekundární regulací zvětšit výrobu o 46 MW. V tomto případě působí tedy sekundární regulátory v obou oblastech a při tom jeden působí zvětšování a druhý zmenšování výroby přesto, že v celém systému poklesl kmitočet.

Ve všech třech uvažovaných případech je třeba výrobu systému zvětšit vždy o 36 MW, jak to od povídá poklesu kmitočtu o 0,1 Hz.

$$\Delta P = -\Delta f \cdot (K_{s1} + K_{s2}) = -(-0,1) (200 + 160) = 36 \text{ MW}$$

Př. 8.21.

Měření dynamických charakteristik energetické soustavy Čechy

Předpoklady:

Měření probíhalo v době poměrně stálého zatížení v dopolední části PDZ a dále pak při klesajícím zatížení v době večerní. Byly zjišťovány dynamické charakteristiky rozpojené soustavy. Soustava Čechy byla rozdělena v rozvodně Opočinek. K regulaci výkonu byla zvolena vodní elektrárna Slapy (2 stroje), ostatní elektrárny pracující do soustavy mají blokovanou sekundární regulaci. Regulace napětí všech alternátorů zůstává zachována.

Dynamická charakteristika v 10^{12} hod:

Zatížení soustavy Čechy bylo $P_z = 1160 \text{ MW}$, tj. 0,78 instalovaného výkonu všech zdrojů $P_g = 1480 \text{ MW}$. Kmitočet sítě byl 50,2 Hz. V elektrárně Slapy byly skokem odpojeny soustrojí TG1 a TG2 o výkonu 87 MW, což je 0,0752 P_z . Průběh poklesu kmitočtu byl jednak oscilografován záznamovou metodou ($f_{\text{záznamjový}} = 51,1 \text{ Hz}$) a odečítán přímo na ukazujících kmitoměrech.

Z průběhu kmitočtu v soustavě s výkonovou rezervou lze vypočítat počáteční rychlost změny kmitočtu

$$v_f = \frac{\Delta f}{\tau} \quad [\text{Hz/s}] \quad v_f = \frac{0,38}{1,9} = 0,2 [\text{Hz/s}]$$

τ ... časová konstanta soustavy s točivou rezervou.

Průběh zkoušky kmitočtu $\Delta f = f(t)$ získaný měřením

čas [sek]	0,2	0,6	1,0	1,4	2,0	3,0	4,0	5,0	10,0
Δf [Hz]	0,042	0,114	0,187	0,239	0,302	0,343	0,374	0,379	0,364