

# 7. Setkání uživatelů programu MODES ČVUT FEL Praha 3.2. 2006

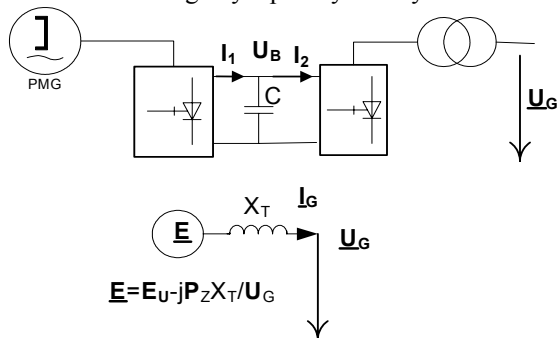
## Program

1. seznámení s inovacemi v nové verzi 2.2/10 programu MODES (nové modely PMGC, WIND, GASA, HRSG, zdokonalený model DFIG, upravené modely WIN0 a HYDR, HRT u trojvinutového traťu .)
2. uživatelské rozhraní MODMAN v.2.10 (vylepšené grafické zobrazení časových průběhů výsledků, vylepšení Editoru chodů)
3. verifikace programu

## 1. INOVACE MODELŮ

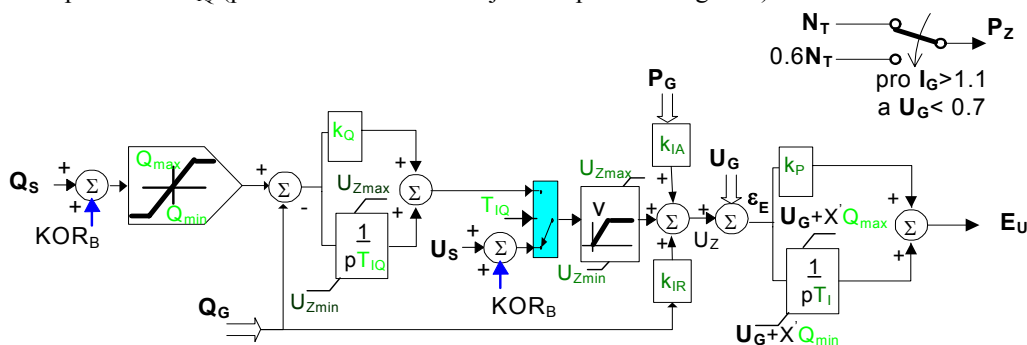
### 1.1. Modely generátorů

1. Je zaveden nový model (označený PMGC z ang. „Permanent Magnet Generator with Converter“) synchronního stroje s permanentními magnety a plnovýkonovým měničem. Jednopolové schéma je na následujícím obrázku.



**Obr. 1 Schéma zapojení PMGC a odpovídající model**

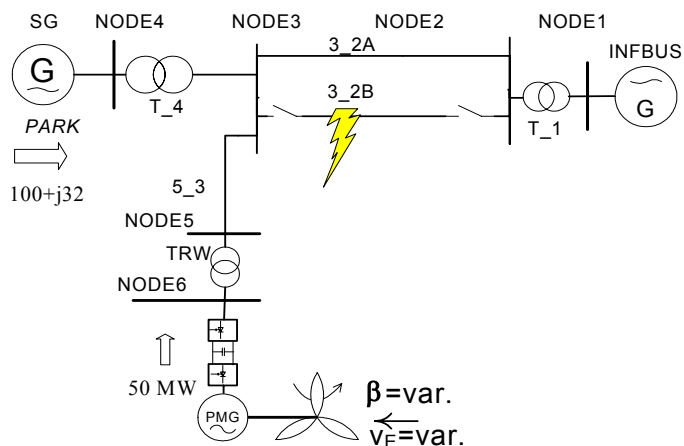
Synchronní stroj poháněný obvykle větrnou turbínou napájí plnovýkonový frekvenční měnič (obdobné zařízení je i u modelu DFIG –viz dále). Výstupní (síťová) část měniče napájí přes transformátor síť. Vektorové řízení prvků IGBT pomocí pulzně šířková modulace umožňuje rychlou (z hlediska elektromechanických přechodných dějů prakticky okamžitou) regulaci přenášených výkonů. Model regulace je na následujícím obrázku. Podobně jako u DFIG se skládá ze dvou nezávislých částí. Činný výkon přenášený do sítě se za běžného provozu rovná mechanickému výkonu turbíny. V případě, že proud překročí jmenovitou hodnotu o 10% při současném poklesu napětí pod 70% jmenovité hodnoty se přenášený činný výkon zmenší na 60% výkonu turbíny. Rozdíl výkonů se akumuluje v kondenzátoru měniče, jehož napětí začne růst. V současné verzi tento růst není regulován (pouze je možno napětí sledovat pomocí proměnné  $U_B$ ). Jalový výkon je řízen podobně jako u DFIG pro regulaci buď napětí  $U_G$  (primární regulace) nebo dodávaného jalového výkonu  $Q_G$  (sekundární regulace) v závislosti na hodnotě parametru  $T_{IQ}$  (pro nulovou hodnotu se jedná o primární regulaci).



**Obr. 2 Schéma modelu regulátoru PMGC**

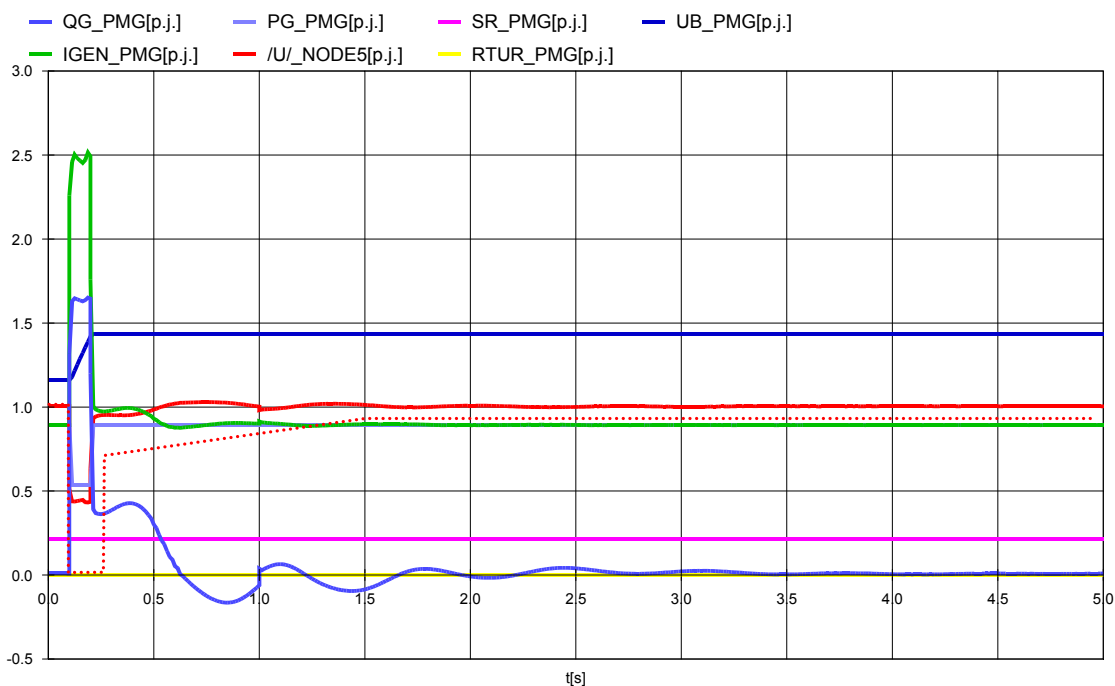
Vlastní implementace modelu je znázorněna na Obr. 1 dole. Generátor s měničem je modelován pomocí napětí za reaktanci transformátoru. Reálná složka napětí (v souřadném systému napětí  $\underline{U}_G$ )  $E_U$  je ve fázi z napětím  $\underline{U}_G$  a kontroluje tak dodávku jalového výkonu do sítě. Imaginární složka kontroluje dodávku požadované velikosti činného výkonu do sítě.

Jak již bylo řečeno používá se model pro vyvedení výkonu větrných turbín jako jedna z možných koncepcí (viz např. [1]). Model byl otestován na jednoduchém příkladu soustavy (popsané v. [2]) kde větrný park o sumárním výkonu 50 MW pracuje paralelně s jiným klasickým zdrojem a jejich výkon je vyveden dvojitým vedením do nadřazené soustavy modelované zdrojem nekonečného výkonu. Dynamické chování parku je sledováno pro zkrat na jednom z paralelních vedení 3\_2B ve 20% vzdálenosti od uzlu NODE3 dle následujícího obrázku. Zkrat trvá 100 ms, pak se vedení vypíná z obou stran. Po 0.9 s dojde k opětovnému zapnutí. Doba výpočtu byla 5s. Podle [3] se jedná o tzv. blízký zkrat, protože napětí v přípojném místě (v našem modelu síť v uzlu NODE3) klesá během zkratu pod 70% jmenovité hodnoty.



**Obr. 3 Schéma modelu regulátoru PMGC**

Následující obrázek ukazuje časové průběhy veličin stroje během přechodného děje:



**Obr. 4 Časový průběh veličin synchronního stroje s plnovýkonovým frekvenčním měničem**

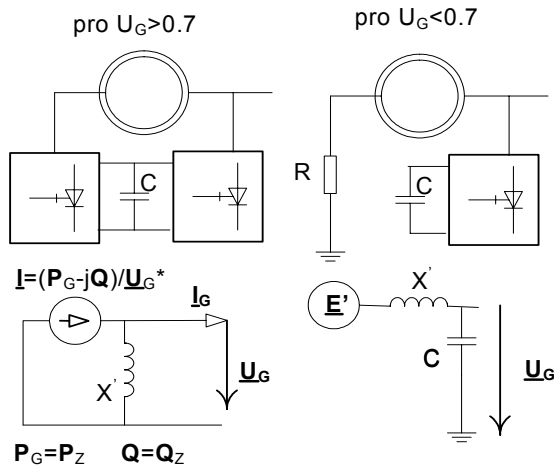
Na obrázku jsou v poměrných hodnotách vyneseny časové průběhy činného PG a jalového QG výkonu a proudu IGEN. Dále je vynášen skluz generátoru SR (poměrný rozdíl synchronních a skutečných otáček) a napětí v přípojném místě /U/. Jelikož se jedná o regulovanou turbínu (s možností natáčení lopatek -tzv. Pitch control) s proměnnou rychlostí otáčení je vynesena i proměnná RTUR ukazující změnu úhlu natočení listu vrtule. Navíc je doplněno napětí stejnosměrného meziobvodu UB. Synchronní stroj je kompletně oddělen od sítě plnovýkonovým měničem, takže pracuje víceméně nezávisle od sítě a jeho otáčky se nemění. Síťová část měniče reguluje napětí, takže při zkratu dodává potřebný jalový výkon. Naopak činný výkon dodávaný do sítě při zkratu klesá. Tím dochází k nabíjení kondensátoru ve stejnosměrném meziobvodu a jeho napětí roste. Jelikož však zkrat trvá jen krátce nedojde k nárůstu napětí nad nebezpečnou mez (1.4 p.j.), kdy by bylo nutné snížit výkon turbíny případně zablokovat měnič.

Do obrázku je tečkovaně nakresleno mezní napětí pro stroje s velkým zkratovým příspěvkem<sup>1</sup>. Pokud je napětí nad touto mezí musí být podle [3] provoz parku stabilní a generátory se nemají odpinat od sítě. V našem případě je skutečné napětí nad mezní hodnotou a elektrárna splňuje toto kritérium bez problémů.

- Model asynchronního stroje napájeného do rotoru frekvenčním měničem DFIG byl upraven tak, aby to více odpovídalo reálnému fungování této koncepce vyvedení výkonu větrných elektráren. Podle literatury se při poklesu svorkového napětí pod určitou hodnotu se totiž rotorová část frekvenčního měniče zablokuje (IGBT prvky přestanou vést) a rotorový obvod se zkratuje (případně se do něj zapojí vnější odpor R, což zatím není v modelu realizováno), takže asynchronní generátor přejde do režimu s kotvou nakrátko. Síťová část měniče zůstává zapojena a kapacita meziobvodu je trvale připojena na svorky.

<sup>1</sup> Jedná se o stroje, které při zkratu v přípojném místě dávají zkratový proud větší než je dvojnásobek jmenovité hodnoty

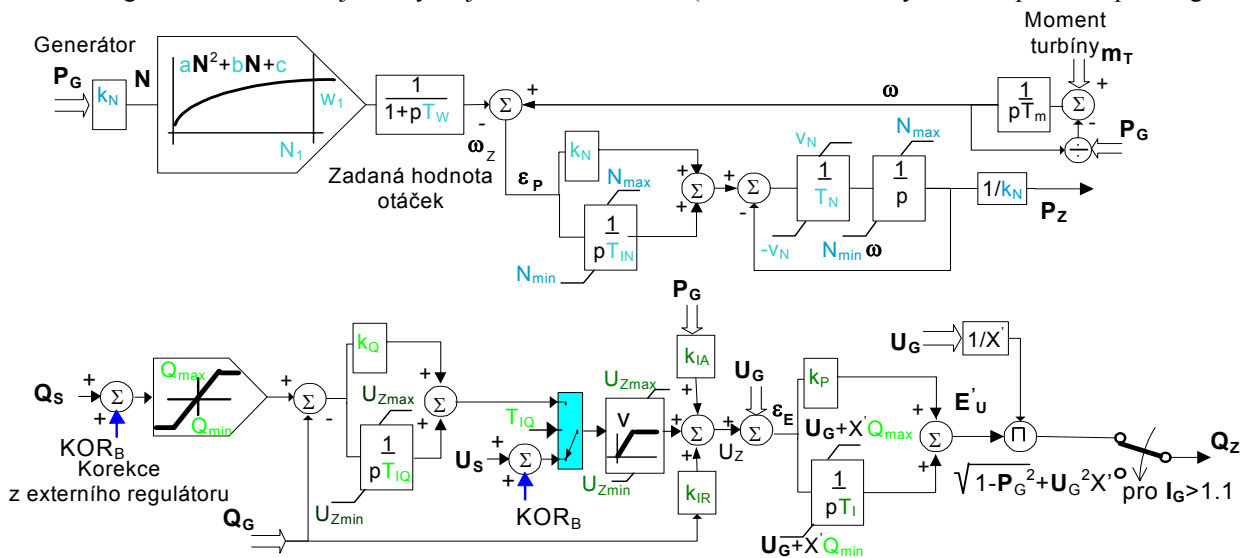
Jednopolové schéma spolu s implementovanými modely je na následujícím obrázku.



**Obr. 5** Schéma zapojení DFIG pro normální režim a při poklesu napětí a odpovídající modely

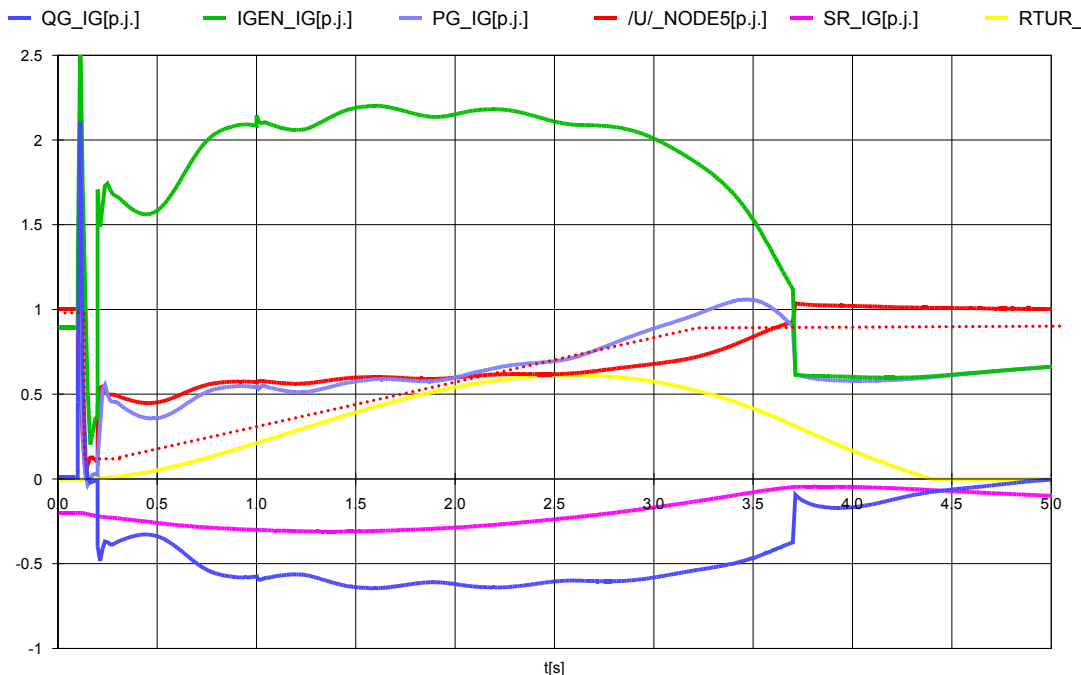
V běžném provozu je generátor modelován Nortonovým vstřikem a paralelní přechodnou reaktancí asynchronního stroje. Při poklesu svorkového napětí pod 70% jmenovité hodnoty je generátor modelován přechodným napětím za přechodnou reaktancí, což odpovídá modelu ELM1.

Model regulace (týká se jen běžného provozu) je na následujícím obrázku. Skládá se ze dvou nezávislých částí. Činný výkon je regulován tak, aby byla udržována rovnováha mezi výkonem turbíny a výkonem přenášeným do sítě. Jalový výkon je řízen pro regulaci buď napětí  $U_G$  (primární regulace) nebo dodávaného jalového výkonu  $Q_G$  (sekundární regulace) v závislosti na hodnotě parametru  $T_{IQ}$  (pro nulovou hodnotu se jedná o primární regulaci). V případě, že proud překročí jmenovitou hodnotu o 10% je jeho hodnota regulována dodávkou jaloviny na jmenovitou hodnotu (dodávka činného výkonu má přednost před regulací napětí).



**Obr. 6** Schéma modelu regulátoru DFIG při běžném provozu

I tento model byl testován obdobně jako PMGC. Následující obrázek ukazuje časové průběhy veličin stroje během přechodného děje:



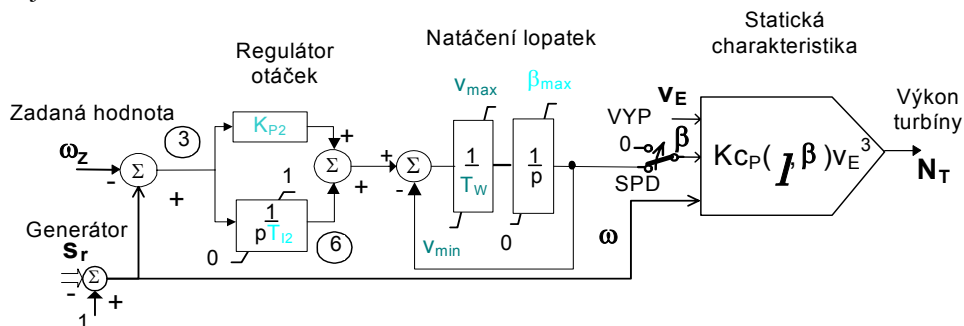
**Obr. 7 Časový průběh veličin dvojitě napájeného asynchronního generátoru**

Na obrázku jsou v poměrných hodnotách vyneseny stejné časové průběhy jako v předchozím případě, jen bez napětí na kondensátoru. Jelikož při zkratu poklesne napětí frekvenčního měniče, dojde k zablokování rotorové části měniče (IGBT tyristory přestanou spínat) a rotor je zkratován přes paralelní diody. Síťová část pokračuje v činnosti v režimu statického kompenzátoru (STATCOM) a dodává jalový výkon do sítě. Asynchronní generátor pracuje s kotvou nakrátko a dodává rázový proud, který během zkratu rychle zaniká. Jelikož klesá i činný výkon rostou otáčky a na to reaguje regulace turbíny natáčením lopatek, čímž se sníží účinnost přeměny energie větru a turbína sníží výkon., takže akcelerace není tak prudká a v čase 1.5 s se stroj začíná brzdít (výkon generátoru je větší než výkon turbíny). Napětí se zotavuje a v čase 3.7 s se frekvenční měnič restartuje a začne pracovat v normálním režimu. Jelikož jsou otáčky stroje mimo optimum, sníží regulátor výkon generátoru tak, aby se stroj urychlil a vrátil do výchozího pracovního bodu odpovídajícího optimální účinnosti.

Do obrázku je opět tečkovaně nakresleno mezní napětí pro stroje tentokrát s malým zkratovým příspěvkem. Jak již bylo uvedeno je-li skutečné napětí v přípojném místě pod touto mezní hodnotou mohou se stroje podle [3] vypnout. Tato podmínka je splněna od času 2s. V tomto případě by bylo vypnutí nadbytečné, protože v čase kolem 3.7 s se napětí zotaví natolik, že elektrárna přejde do normálního režimu a velmi rychle doreguluje napětí na jmenovitou hodnotu.

## 1.2. Úpravy modelů turbín

3. Je zaveden nový model WIND větrné turbíny, která je modelována statickou charakteristikou v závislosti úhlu natočení lopatek  $\beta$ , otáčkách rotoru  $\omega$  a ekvivalentní rychlosti větru v ose hřídele  $v_E$ . Úhel  $\beta$  je ovládán PI proporcionálním regulátorem otáček s omezením na rychlosti změn. Regulátor je standardně v režimu regulace otáček. Alternativním režimem je vypnutí regulace ve výchozím stavu klíčovým slovem VYP v databázi modelů bloků nebo během výpočtu zásahem STRC. Schéma modelu je na následujícím obrázku:



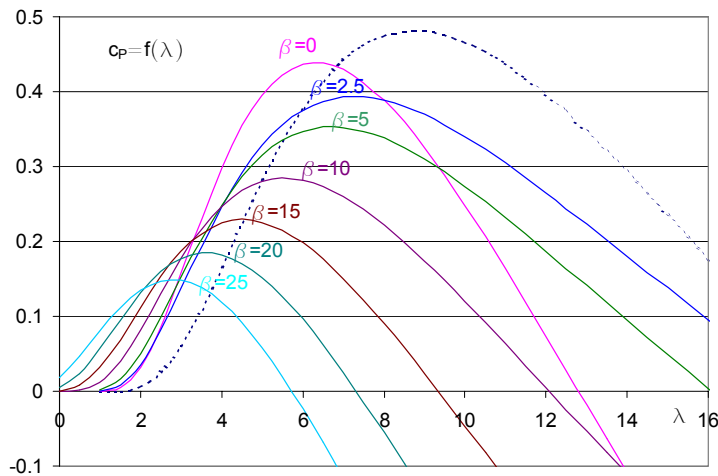
**Obr. 8 Schéma modelu větrné turbíny WIND v závislosti na rychlosti větru, otáčkách a úhlu natočení lopatek**

Výkon turbíny  $N_T$  je určen součinem konstanty  $K$  (poloviční součin hustoty vzduchu a plochy vrtule), účinnosti turbíny  $c_p$  a třetí mocniny rychlosti větru.

Účinnost turbíny závisí na činiteli rychloběžnosti  $\lambda$  a úhlu natočení  $\beta$  podle vztahu převzatého z [4]:

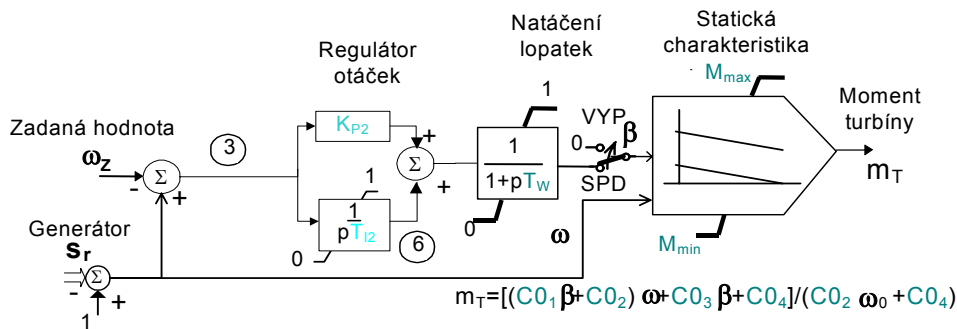
$$c_p(\lambda, \beta) = A \left( \frac{1}{\lambda_i} - B\beta - C \right) e^{-\frac{D}{\lambda_i}}, \lambda_i = \frac{1}{\frac{1}{\lambda + G\beta} - \frac{F}{\beta^3 + 1}}, \lambda = \frac{\omega R}{v_E}$$

Kde  $R$  je poloměr rotoru turbíny a  $A, B, C, D, F$  a  $G$  jsou volitelné parametry. Závislosti účinnosti na  $\lambda$  a  $\beta$  pro třílistou vrtuli jsou zobrazeny na následujícím obrázku



**Obr. 9 Závislost  $c_p$  na  $\lambda$  a  $\beta$  pro neregulovatelnou (tečkovaně) a regulovatelnou turbínu ( $b=\beta$ )**

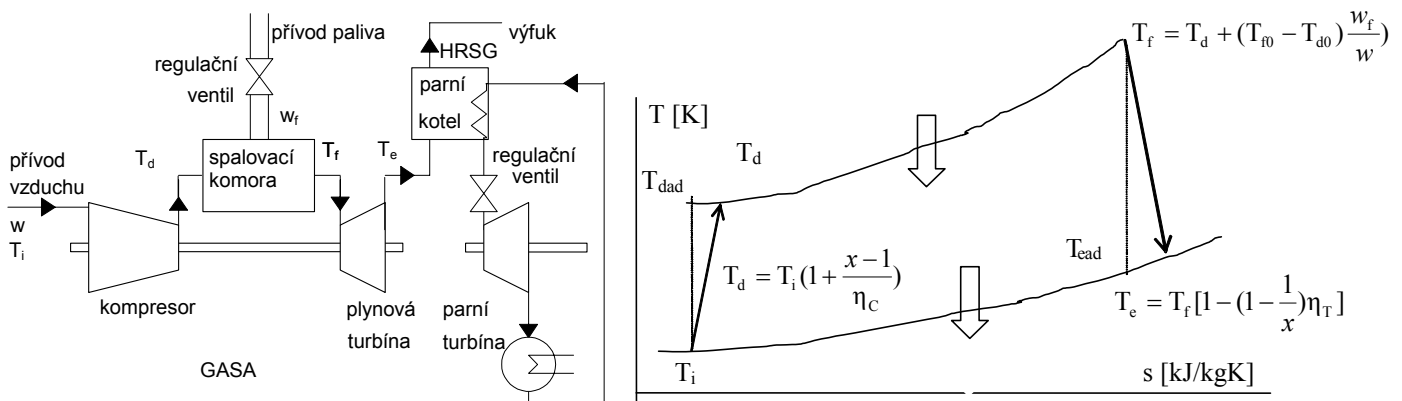
4. U modelu větrné turbíny WIN0 pro konstantní rychlost větru byl upraven model regulátoru, který může mít proporcionálně integrační charakter.



**Obr. 10 Upravený model větrné turbíny WIN0 v závislosti otáčkách a úhlu natočení lopatek**

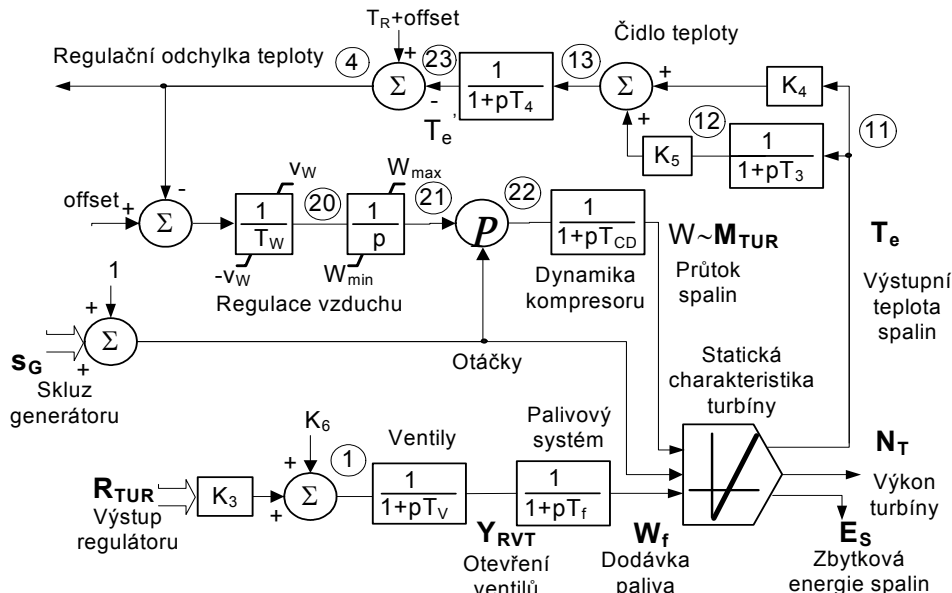
Turbína je modelována statickou charakteristikou v závislosti na poměrných otáčkách rotoru  $\omega$  (vypočítaných ze skluzu generátoru) a na natočení rotorových listů turbíny, vyjádřené poměrnou hodnotou  $\beta$ , která se mění od 0 do 1. Při hodnotě 0 dosahuje moment turbíny největší hodnoty. Úhel natočení je ovládán PI regulátorem se zesílením  $K_{P2}$  a integrační časovou konstantou  $T_{12}$  (zadávané v úseku typových parametrů přídavných automatik turbíny, ostatní parametry se zadávají v úseku turbín katalogu typových parametrů modelů bloků). Při volbě  $T_{12}=0$  je regulátor čistě proporcionální. V databázi modelů bloků se zadává regulace otáček klíčovým slovem SPD, při zadání klíčového slova VYP se proporcionální regulátor odpojí a úhel  $\beta$  má konstantní hodnoty 0. V editoru modelů bloků se režim regulace zadává výběrem v rámečku *Regulace turbín*.

5. Je zaveden model paroplynového cyklu. Skládá se ze zdokonaleného původního modelu plynové turbíny GAST přejmenovaného na GASA a modelu parního kotle vyhříváného zbytkovým teplem spalín HRSG (z ang. „Heat Recovery Stream Generator“).



**Obr. 11 Schéma paroplynového cyklu a T-s diagram zobrazující pracovní cyklus plynové turbíny**

Popis úprav je podrobně popsán v [5] a [6]. Blokové schéma modelu GASA je na následujícím obrázku:



**Obr. 12 Schéma modelu plynové turbíny GASA**

Oproti původnímu modelu GAST je modelován průtok vzduchu  $W$ , který reguluje teplotu výstupních plynů na zadanou hodnotu  $T_R$ . Zároveň je regulační odchylka teploty zaváděna navýšená o hodnotu offset do regulátoru paliva. Model také obsahuje proměnnou  $E_S$ , která vstupuje do navazujícího modelu spalínového kotle HRSG. Vlastní statická charakteristika plynové turbíny je modelována pomocí následujících rovnic:

$$\text{Teplota vzduchu na výstupu kompresoru } T_d = T_i \left(1 + \frac{x-1}{\eta_c}\right) \quad (1)$$

$$\text{Teplota spalín na vstupu do turbíny } T_f = T_d + (T_{f0} - T_{d0}) \frac{W_f}{W} \quad (2)$$

$$\text{Teplota spalín na výstupu do turbíny } T_e = T_f \left[1 - \left(1 - \frac{1}{x}\right) \eta_T\right] \quad (3)$$

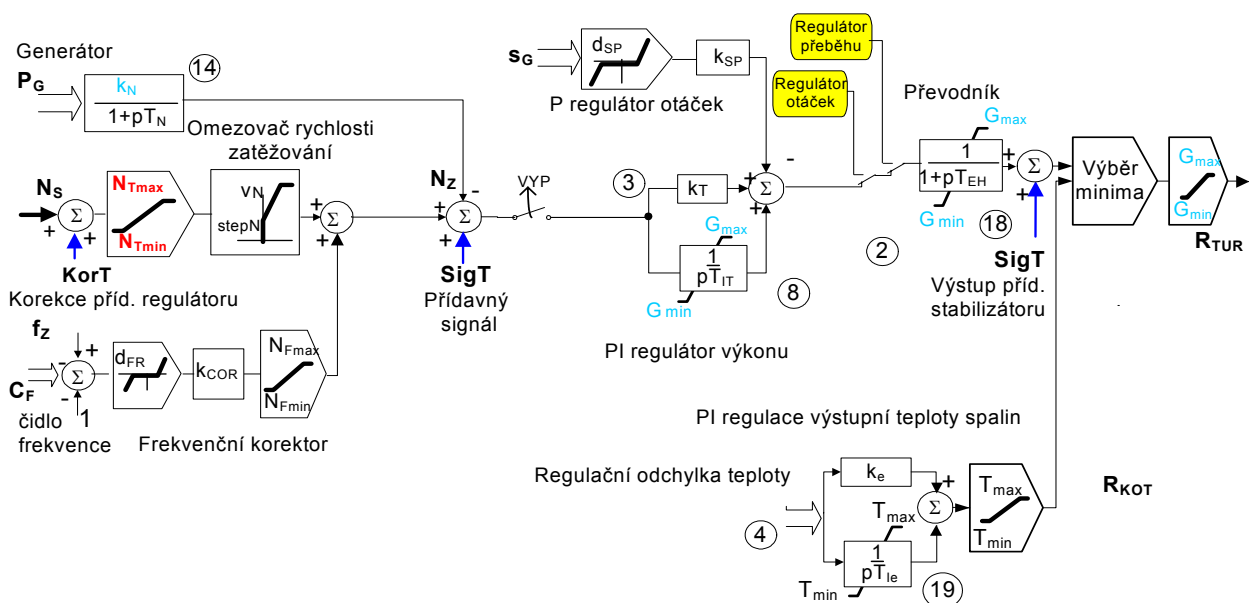
Kde  $\eta_c$  a  $\eta_T$  jsou tepelné účinnosti kompresoru a turbíny. Faktor  $x$  (zahrnující kompresní poměr) je aproximován podle vztahu:

$$x = x_0 + kx(w - w_{min}) \quad (4)$$

Kde se respektuje i závislost na otáčkách. Výstupní proměnné modelu  $N_T$  a  $E_S$  jsou rovny:

$$N_G = k_G [(T_f - T_e) - (T_d - T_i)] W \quad E_S = k_S T_e W [1 - A_e (T_e - T_{emax})^2] \quad (5)$$

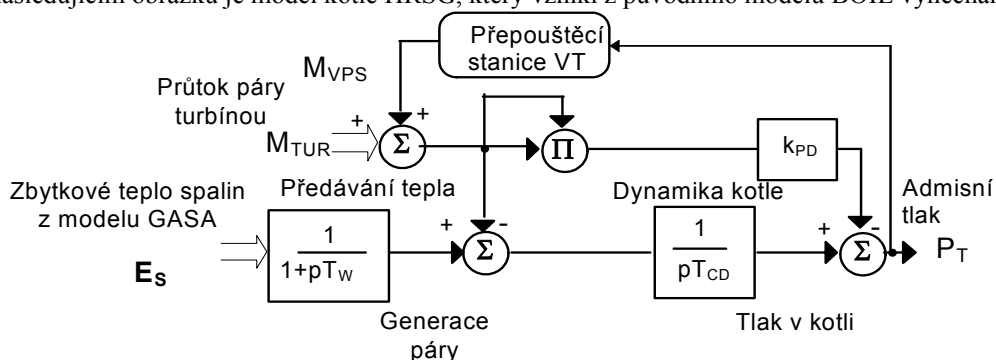
Pro  $E_S$  aproximuje výraz v hranaté závorce účinnosti kotle (přeměnu energie spalínů na páru) a také účinnost parní turbíny (přeměnu energie páry na mechanickou energii). Následující obrázek ukazuje model regulátoru.



**Obr. 13 Schéma modelu regulace plynové turbíny GASA**

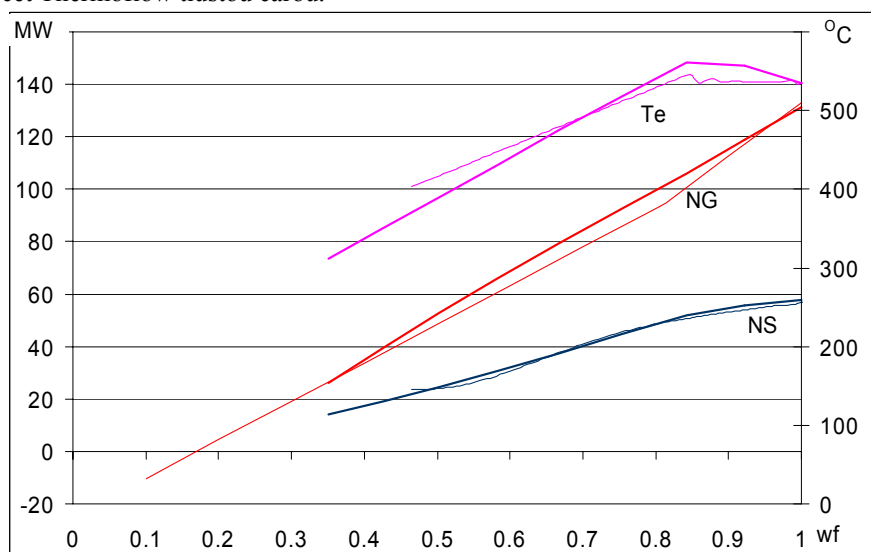
Oproti původnímu regulátoru modelu GAST je přidán regulátor teploty výstupních plynů, který začíná fungovat pokud měřená teplota  $T_e$  přesáhne zadanou hodnotu o velikost parametru offset. Řízení turbíny (dodávku paliva) ovládá regulátor, který má menší hodnotu.

Na následujícím obrázku je model kotle HRSG, který vznikl z původního modelu BOIL vynecháním bloků přípravy paliva:



**Obr. 14 Schéma modelu kotle na spalivé teplo HRSG**

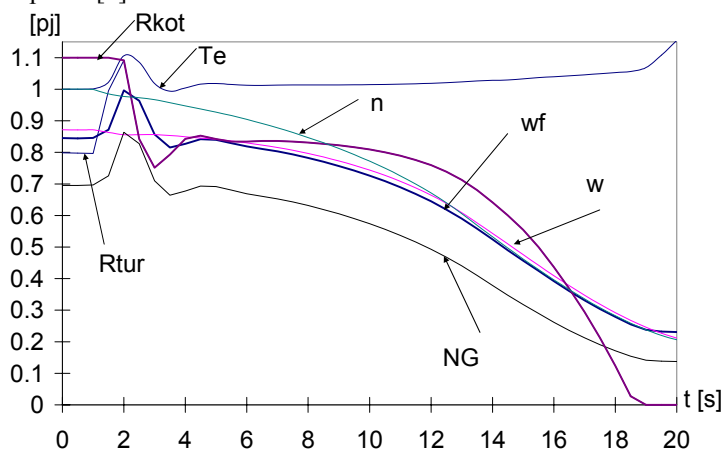
Model plynové turbíny podle rovnic (1) – (5) byl porovnán ze statickou charakteristikou turbíny spočítanou programem Thermoflow pro PPC s výkony 131 a 57 MW v plynové a parní části a teplotou výfukových plynů cca 1100 °C. Následující obrázek ukazuje porovnání výkonů obou turbín a výstupní teploty spalin v závislosti na dodávce paliva - pro model GASA tenca a výpočet Thermoflow tlustou čarou.



**Obr. 15 Porovnání charakteristik modelu GASA s výpočtem programem Thermoflow**

V modelu je zadána regulovaná teplota TR na 535 °C. Charakteristika má dvě části. V první části (do 84 % jmenovité dodávky paliva) je konstantní průtok vzduchu  $W$  a narůstá teplota výstupních plynů  $T_e$ . Jakmile teplota dosáhne hodnoty TR je udržována regulací průtoku vzduchu na této hodnotě.

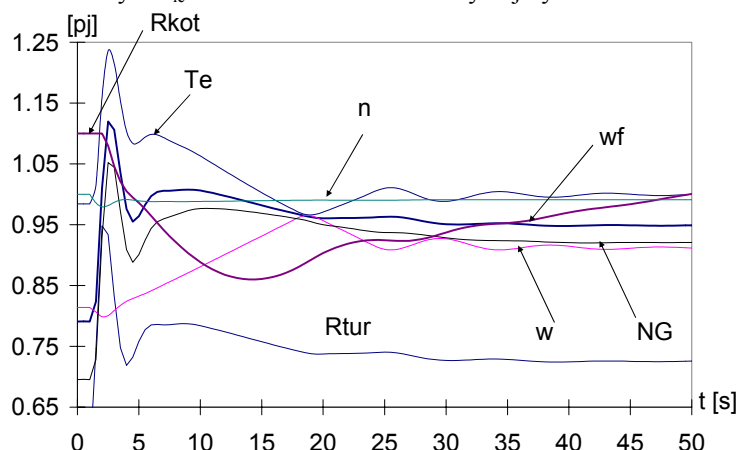
Pro zjištění dynamického chování modelu se testoval přechod do nedostatkového a přebytečného ostrova. U plynové turbíny se automatickou při otáčkách odpovídajících odchylce frekvence  $\pm 200$  mHz zásahem STRC s parametrem 0 vypnul regulátor výkonu, čímž turbína pracovala v režimu proporcionální regulaci otáček. Následující obrázek ukazuje přechod do nedostatkového ostrova s deficitem výkonu kolem 20% (počáteční výkon obou turbín byl menší než zatížení ostrova o cca 20% ) s původními parametry regulace podle [7].



**Obr. 16 Dynamika při přechodu do deficitního ostrova s původními parametry regulátoru**

Z obrázku je vidět nestabilní přechodný děj s poklesem otáček – přechod do ostrova skončí frekvenčním kolapsem. Příčinou je to, že řízení turbíny přebírá od 2 s regulátor teploty Rkot, jehož hodnota je trvale menší než hodnota regulátoru otáček. Regulátor sníží přívod paliva wf, čímž ovšem klesá výkon NG a tím i otáčky stroje. Protože přívod vzduchu závisí na otáčkách, klesá dále jejich hodnota. Turbína má kladný regulační efekt – s nárůstem otáček výkon roste a naopak, čímž přispívá ke vzniku kolapsu.

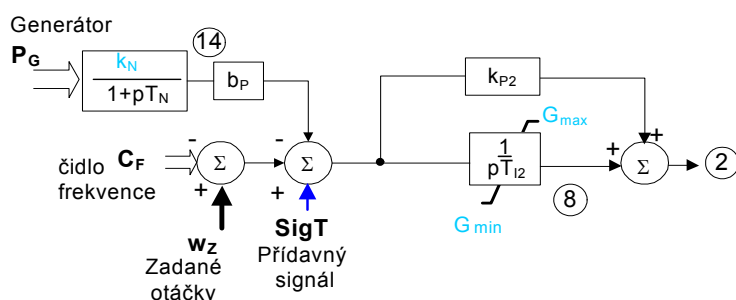
Aby se tyto negativní vlastnosti omezily, bylo v modelu regulátoru otáček sníženo maximum  $G_{max}$  z 1.5 na 1.1 při změně zesílení  $K_3$  z 0.77 na 1. U regulátoru teploty byla snížena rychlost regulace změnou proporcionálního zesílení  $k_e$  ze 17 na 1 a integrační časové konstanty z  $T_{ie}$  z 0.23 na 3.23s. Přejídný děj nyní bude stabilní:



**Obr. 17 Dynamika při přechodu do deficitního ostrova s upravenými parametry regulátoru**

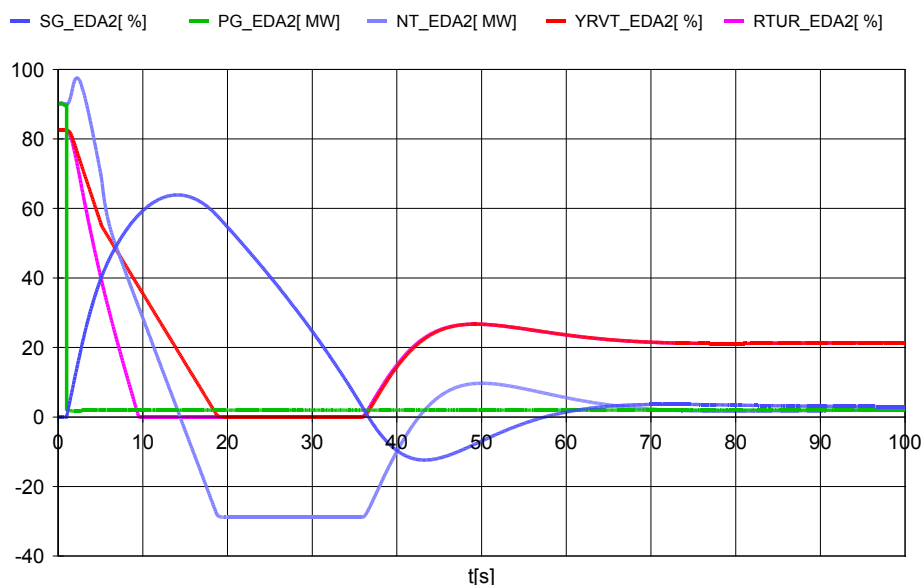
Výstup regulátoru teploty Rkot nyní neovlivňuje výstup regulátoru turbíny. Nárůst teploty krátkodobě překročí mez 110%, ale nedojde k frekvenčnímu kolapsu ostrova.

6. V souvislosti s výměnou regulátorů na našich vodních elektrárnách a s nově implementovanou strukturou v tzv. režimu regulace ostrovního provozu (ROP) byl v model regulátoru vodní turbíny upraven i tento režim, který doplňuje původní regulátor otáček PIDP (standardní) a mechanicko- hydraulický regulátor (příznakem jsou čtyři parametry navíc v úseku typových parametrů přidavných automatik turbíny. Příznakem použití alternativního modelu je zadání parametru  $A1=-1$  v úseku typových parametrů regulátoru turbíny. Blokové schéma tohoto regulátoru je na následujícím obrázku.



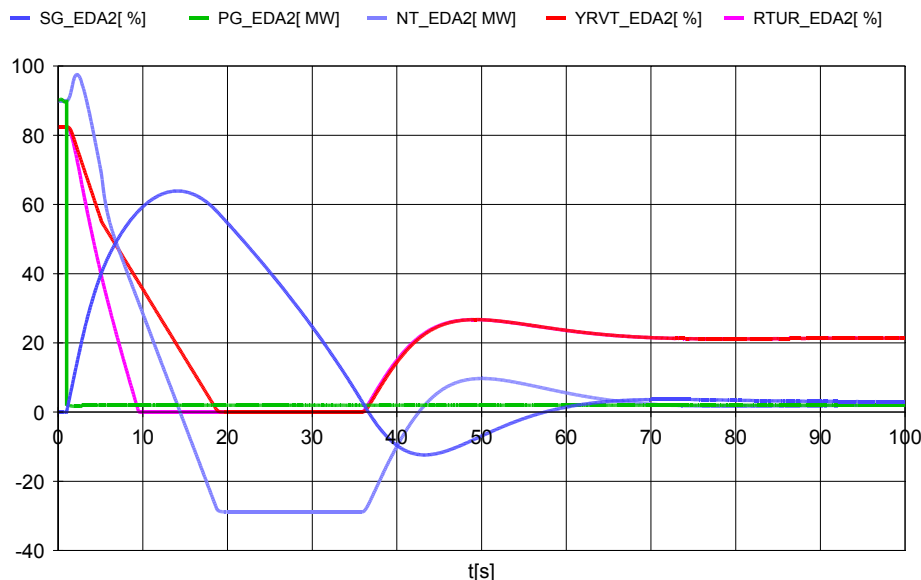
**Obr. 18 Blokové schéma alternativního modelu regulátoru otáček**

Model byl testován pro případ přechodu bloku na vlastní spotřebu. Následující dva obrázky ukazují přechodný děj pro původní regulátor PIDP a novou strukturu:



**Obr. 19 Dynamika při přechodu na vlastní spotřeby pro PIDP regulátoru**





**Obr. 20 Dynamika při přechodu na vlastní spotřeby pro alternativní model regulátoru**

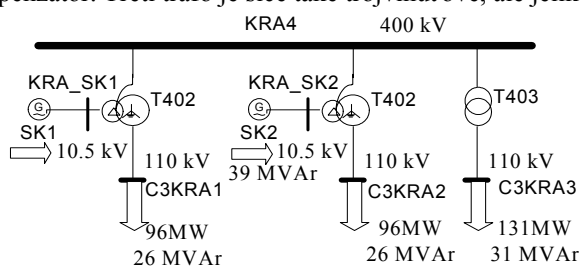
Je vidět, že oba regulátory (resp. jejich modely) dávají obdobné výsledky.

### 1.3. Úpravy modelu přepínání odboček trafa (HRT) pro trojvintuřový transformátor

7. Zatímco v předchozích verzích fungovalo automatické přepínání odboček jen pro dvojvintuřové transformátory zadané v tabulce větví, nyní je možno zadat záznam v tabulce regulačních traf i pro trojvintuřové trafo. Situaci ukazuje následující výpis souboru VET.DAT pro dvě trojvintuřová trafo T401\_KRA a T402\_KRA:

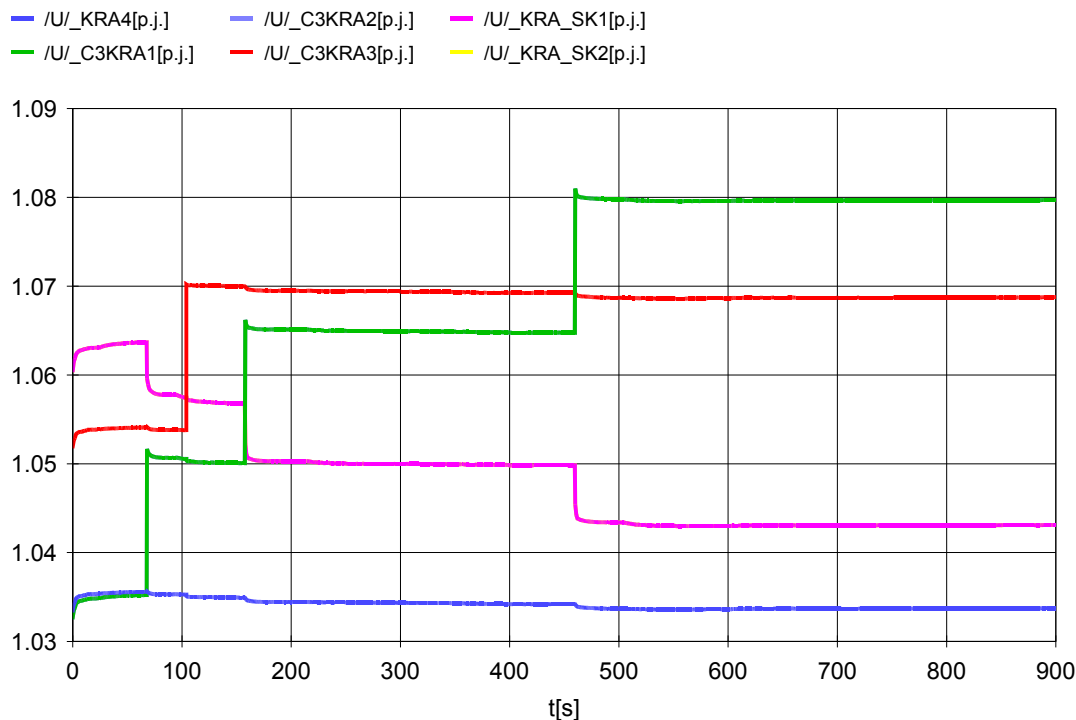
```
*****
Porad CisPoc CisKon Regul Ptmin Ptmax Krok Uzad necU Stav CKT
cislo uzlu uzlu uzel (-) (-) (-) (%) (%) (0/1) (-)
----- Ntregx
..
5 20131 20130 'C3KRA1' 0.784 1.035 0.014 108 0.9 1 1
6 20132 20130 'C3KRA2' 0.784 1.035 0.014 108 0.9 1 1
7 20130 20135 'C3KRA3' 0.789 1.029 0.015 108 0.9 1 1
*****
Por. Jmeno Uzel Uzel Uzel Sn1 Sn2 Sn3 uk12 uk13 uk23 Pk12 Pk13 Pk23 P0 i0 Un1 Un2 Un3 K+ K- O+ O- AO S TReg
Cis. trafa 1. 2. 3. (MVA) (%) (MW) (MW) (%) (kW) (%) (-)
----- N3Tx
1 'T401_KRA' 20131 20130 20133 250 250 100 12.3 7.5 13.2 0.81 0.3 0.34 0 0 121 400 10 1.39 1.39 9 -9 -7 1 3
2 'T402_KRA' 20132 20130 20134 250 250 100 12.3 7.5 13.2 0.81 0.3 0.34 0 0 121 400 10 1.39 1.39 9 -9 -7 1 3
*****
```

Obě trafo jsou připojena do uzlu 400 kV podle následujícího obrázku. Obě mají na terciární vinutí připojen synchronní kompenzátor. Třetí trafo je sice také trojvintuřové, ale jelikož je terciární vinutí naprázdno, je modelováno jako běžná větev.



**Obr. 21 Jednopolové schéma zapojení trojvintuřových transformátorů**

Následující obrázek ukazuje přechodný děj při automatickém přepínání odboček všech tří traf:



**Obr. 22 Dynamika při přechodu do deficitního ostrova s upravenými parametry regulátoru**

Ve výchozím chodu sítě bylo napětí na úrovni 110 kV nastaveno na cca 1.035 p.j. v uzlech C3KRA1 a 1.053 v uzlu C3KRA2. Po spuštění simulace regulátor přepne 3x odbočku na obou trojvlnuťových trafec a vyreguluje napětí na zadanou hodnotu 1.08 p.j. Napětí terciáru v uzlech klesá, protože synchronní kompenzátory jsou v režimu sekundární regulace a udržují konstantní dodávku jaloviny 39.MVar. Jelikož přepínání odboček je v uzlu transformátoru mění se počet závitů na straně 400 kV a tím se mění i převod 400/10.5 kV. U dvojvlnuťového trafa se přepne během simulace jednou a napětí do konce simulace (15 minut) vyregulováno není, což je způsobeno časovou závislostí regulace, takže by se musela prodloužit doba simulace, aby došlo k dalšímu přepnutí a doregulování do zadaného pásma necitlivosti 1%.

## 2. VYLEPŠENÍ DAŠÍCH FUNKCÍ PROGRAMU

8. Nový zásah PROF, který vypíná/zapíná všechny větve profilu.
9. Zásah SNAP s parametrem 2 vytvoří ve výstupním adresáři tabulku uzlů UST.DAT
10. Prohledávání databáze modelů bloků BLOK.DTB se provádí ve dvou průchodech. Poprvé se vybírají z databáze modely při shodě jmen bloku a uzlu. Pokud blok není v databázi nalezen provede se druhý průchod, při kterém se vybírá již jen podle jména bloku.

## 3. UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ MODMAN

MODMAN je součástí standardní dodávky balíku programů MODES a plní tyto funkce:

- A) brouzdání v uložených **projektech a případech** (kliknutím na jméno projektu/případu v Prohlížeči)
- B) správu **projektů a případů** (otevírání projektu/případu tlačítkem na liště nebo příkazy Menu **Projekt a Případ**)
- C) úpravu vstupních dat (Menu **Modifikovat** nebo tlačítka pro editory chodu a modelů, **grafiku a scénář**)
- D) spuštění MODESu, pomocných a přidavných programů z menu **Spust'** a **Nástroje** nebo tlačítka
- E) správu servisních balíčků, které aktualizují obsah balíku MODES (Menu **Soubor**)
- F) zobrazení kontextové (klávesou F1), bublinkové (při přejetí kurzorem nad prvkem rozhraní), celkové nápovědy (Menu **Nápověda**) a nápovědy Co je to? (stiskem tlačítka ? v titulku a kliknutím nad prvkem)
- G) prohlížení standardních a uživatelských výstupních souborů (Tlačítka a Menu **Hlášení, Analýza a Výsledky**) v textovém nebo grafickém režimu (pro zatržení volby Graficky v menu **Výsledky**)
- H) zobrazování dokumentace pomocí stromové struktury v Prohlížeči po kliknutí na záložku **Dokumentace**.
- I) zobrazování doprovodných grafických informací
- J) přístup k dokumentům uloženým v podadresáři DOC projektového adresáře (Menu **Soubor/Dokumenty..**)
- K) přístup k textovým souborům archivů projektů, případů a editací (Menu **Soubor/Archív..**)
- L) funkce hledání v textovém okně a tisk jeho obsahu

V grafickém režimu prohlížení výsledků byly rozšířeny možnosti – je možno měnit velikosti fontů a kliknutím na osy x a y zadávat jejich rozsahy v samostatném okně.

### 3.1. Editor chodů sítě

Editor chodů umožňuje interaktivní ladění výchozího chodu sítě a na to navazující inicializaci dynamických modelů. Následující obrázek ukazuje jeho vzhled. Žlutá barva signalizuje, že je příslušná tabulka aktivní (má fokus) a lze v ní provádět editace (např. zmazat záznam). Pokud je proveden výpočet chodu sítě (tlačítkem **Přepočítat chod**) a z menu **Zobrazit** zvolíme **Vazby na uzel**, objeví se v dolním textovém okně výpis uzlu, na jehož řádku je ukazatel v tabulce uzlů. V levé části je výpis veličin uzlu a v pravé části výpis větví, trojvlnuťových traf a UPFC, které jsou do uzlu připojeny. Okno je interaktivní, takže pokud vyberme myší jméno incidenčního uzlu, aktualizuje se výpis pro tento uzel. Při výběru jména větve, se ukazatel v tabulce větvi přesune na příslušný záznam.

Editor chodů umožní spouštět i program MODES v režimu inicializace dynamických modelů (bez simulačního výpočtu). Provede se to příkazem menu **Inicializace dynamiky**. Ve střední části Editoru se objeví několik textových oken ukazujících překročení mezi dynamických modelů. Pokud jsou textová okna prázdná, je model správně inicializován a po spuštění simulace bez scénáře a činnosti externích automatik, stabilizátorů a regulátorů je vidět rovná čára. Hlášení o výkonové nerovnováze v uzlu je způsobeno tím, že do generátorického uzlu (kde je připojen blok) je zároveň připojena větev o velmi malé impedanci (spínač) což způsobí vlivem zaokrouhlovacích chyb (údaje o velikosti a fázi napětí uzlu jsou ve vstupním datovém souboru s tabulkou uzlů zobrazeny na určitý konečný počet míst) nesoulad mezi dodávkou výkonu spočítanou chodem sítě a vstříkovaným výkonem dynamického modelu bloku. Není proto vhodné připojovat do generátorického uzlu spínače.

1. V menu **Editovat** jsou přidány dvě nové funkce – Eliminace uzlu (vyřadí uzel, který je na paprsku spolu s příslušnou větví a jeho odběr a dodávku přenesou do nejbližšího uzlu) a Vypnutí profilu.

The screenshot shows the 'Editor chodu' software interface. The main window displays a table of nodes with columns: Uzel, Císlo, Jméno, Uzel, Císlooblasti, Uv[KV], absU[KV], argU[stup], Podb[MW], Qodb[MVA], Pdsd[MW], Qdod[MVA], Qkomp[MVA], Qmin[MVA], Qmax[MVA]. The table lists various nodes like HZ1, KRA4, C3KRA1, C3KRA2, C3KRA3, KRA\_SK1, KRA\_SK2, EME3, GME3, HEM4, HEM1, NEZ4, NEZ1, NOS4, NOS1A, NOS1B, and LIS1B. Below the table, there are sections for 'Nápájecí uzly s překročenými limity v modelech bloků', 'Uzly s as.stroji s výkonovou nerovnováhou', and 'Hlášení o výkonové nerovnováze v uzlu'. A secondary window shows a list of nodes with their IDs and names. A third window displays 'Výpočet ustáleného chodu sítě' with parameters like 'Přepočítat chod', 'Dovolená výkonová nerovnováha [MVA]', and 'Dovolený počet iterací'.

Obr. 23 Editor chodů

### 3.2. Editor modelů bloku

Editor modelů bloku umožňuje interaktivní výběr a editaci dynamických modelů bloku. V rámečku *Výběr komponenty modelu bloku* jsou graficky zobrazeny symboly modelů komponent přiřazených danému bloku - generátoru, budiče, turbíny a zdrojem pohonného média (bez ohledu na navolené modely v padacích seznamech – kombo-boxech, změna modelu se provede až po stisknutí *Vyměnit model* nebo *Vyměnit všechny modely*). V kombo boxech je seznam všech dostupných modelů z knihovny programu. Je zde také volba stavu regulátoru turbíny rozšířená o možnost přepnout regulátor do režimu regulace otáček již ve výchozím stavu. Tlačítka v rámečku jsou barevně rozlišena –po jejich stisknutí se probarví i tabulka typových parametrů). Stisknutím tlačítka *Schéma* se uprostřed plochy zobrazí blokové schéma odpovídajícího modelu. Při zobrazeném blokovém schématu lze měnit typové parametry aktuálního bloku přímo ve spodní jednořádkové tabulce, což je vhodné tehdy, jestliže mají parametry alternativní význam (různé názvy např. pro parní nebo vodní turbínu).

Při výměně modelu tlačítkem *Vyměnit model* (je nutno mít vždy stisknuté tlačítko dané komponenty –budiče, generátoru, turbíny nebo zdroje, což se projeví i aktualizací tabulky typových parametrů a příslušným zbarvením) se automaticky přiřadí i

odpovídající sada typových parametrů z globálního katalogu (tu je možné pak po skoku na poslední prázdný řádek tabulky typových parametrů tlačítkem *Přidat novou sadu* zkopírovat, editovat, přejmenovat a přiřadit zpět bloku tlačítkem *Vyměnit parametry*, nová sada se pak uloží do lokálního katalogu typových parametrů).

V rámečku *Seznam bloků* je možné provést filtr bloků jen vybrané oblasti.

**Sady typových parametrů modelu bloku z katalogů TYP\_BLOK.CAT**

Generatory	Un[kV]	Cosn(-)	Sng[MVA]	Xd(-)	Xq(-)	Xd1(-)	Xq1(-)	Xd2(-)	Xq2(-)	Xt(-)	Td01[s]	Td02[s]	Tq02[s]	Tm[s]
default	17.5	0.85	235	2.5	2.5	0.425	0.3	0.1	8	0.06	0.4	12		
J950	24	0.864	1100	2.5	2.5	0.425	0.3	0	8	0.06	0.4	12		
J950+T	24	0.864	1100	2.5	2.5	0.425	0.3	0.1	8	0.06	0.4	12		
J390+T	15	0.867	450	2.7	2.6	0.36	0.29	0.13	8.5	0.05	0.35	8		
P260+T	15	0.867	300	2.7	2.6	0.36	0.29	0.13	8.5	0.05	0.35	8		
S195+T	15	0.867	225	2.7	2.6	0.36	0.29	0.13	8.5	0.05	0.35	8		
P130+T	15	0.867	150	2.7	2.6	0.36	0.29	0.13	8.5	0.05	0.35	8		
P3500T	24	0.7	5000	2.5	2.5	0.425	0.3	0.13	8	0.06	0.4	12		
V130+T	15.75	0.867	130	1.16	0.77	0.42	0.25	0.1	7.6	0.038	0.43	5.75		
V320	22	0.9	365	1.5	0.88	0.35	0.2	0	12.6	0.038	0.43	7.26		
V115	13.8	0.9	128	1.16	0.77	0.42	0.25	0	7.6	0.038	0.43	5.75		
J1000	24	0.9	1111	2.8	2.7	0.42	0.3	0	8.8	0.046	0.038	7.55		
J220	15.75	0.85	259	1.91	1.82	0.267	0.2	0	7.7	0.041	0.037	9.89		
P500	20	0.85	588	2.66	2.56	0.35	0.26	0	7.9	0.036	0.035	5.85		
P210	15.75	0.85	210	2.66	2.56	0.35	0.26	0	7.9	0.036	0.035	5.85		
P200	15.75	0.85	235	1.73	1.65	0.24	0.181	0	7.7	0.041	0.037	6.56		
P110	15.75	0.85	110	1.73	1.65	0.24	0.181	0	7.7	0.041	0.037	6.56		
P55	15.75	0.85	55	1.73	1.65	0.24	0.181	0	7.7	0.041	0.037	6.56		
J1000R	24	0.9	1111	2.8	2.7	0.42	0.3	0	8.8	0.046	0.038	7.55		
DIESEL	15.75	0.85	157.5	1.73	1.65	0.24	0.181	0	7.7	0.041	0.037	6.56		

**Význam typového parametru Tm**

Mechanická (akcelerační) časová konstanta

spočte se z momentu setrvačnosti  $J = GD^2/4$

$$Tm = J * (31.4 / p)^2 / Sng, \text{ p počet polpárů}$$

Typové parametry vybraného bloku: ETU2B - GTU2B

Generatory	Un[kV]	Cosn(-)	Sng[MVA]	Xd(-)	Xq(-)	Xd1(-)	Xq1(-)	Xd2(-)	Xq2(-)	Xt(-)	Td01[s]	Td02[s]	Tq02[s]	Tm[s]	Xq1(-)	Tq01[s]	Rstat(-)	Rrot(-)	dP0(-)	Erem(-)	Koment(text)	Katal(text)	Dupl(bool)	PocetInj	
P200	15.75	0.85	235	1.73	1.65	0.24	0.181	0	7.7	0.041	0.037	6.56	0.33	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14

Obr. 24 Editor modelů bloků

Po kliknutí na jméno parametru v hlavičce Typových parametrů vybraného bloku se v okně vypíše specifikace daného parametru (význam, výpočet, poznámka). Tyto údaje jsou uloženy v samostatné databázi *PopisPar1.MDB* v podadresáři *GLOBAL.DAT/DOC* (je součástí dodávky).

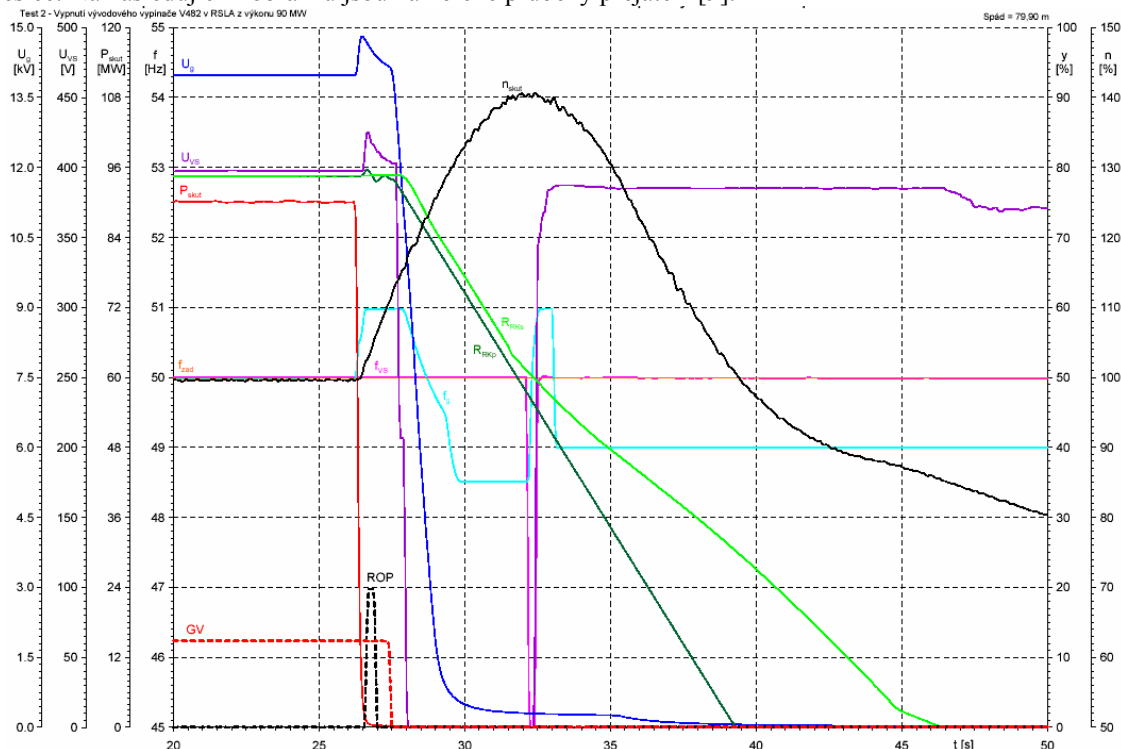
Blokové schéma (zobrazované po stisku tlačítka *Schéma*) je možno tlačítkem *Kopírovat schéma* uložit do schránky a pak vkládat do dokumentů příkazem *Vložit jinak/Obrázek (WMF)*.

#### 4. VERIFIKACE PROGRAMU

Během vývoje a praktického používání dochází k neustálému ověřování správnosti modelů a metod implementovaných v programech MODES a ZKRATY. K tomu slouží porovnání výsledků simulačních výpočtů:

- s měřeními
- s výsledky v jiných programech, v [8] jsou např. porovnány průběhy zkratových proudů spočítané programy MODES a ATP.
- s vypočítanými průběhy v literatuře – kromě již dříve uvedených příkladů jsou zpracovány příklady ze skriptu Prechodné javy v ES, vydaným Technickou univerzitou v Košicích, což souvisí s tím, že ve spolupráci s touto univerzitou se připravuje nové skriptum Použití počítačů při analýze elektrických sítí, kdy budou řešené příklady pomocí programů (mimo jiných i MODESem). Rukopis skriptu bude dokončen do poloviny roku a dán všem uživatelům k dispozici.
- s rozбором časových průběhů skutečných poruchových a přechodných dějů v ES.

Příkladem porovnání výsledků simulace s měřeními je například analýza časových průběhů vypínací zkoušky vodní elektrárny Dalešice. Na následujícím obrázku jsou naměřené průběhy přejaté z [9]:



**Obr. 25 Měřené časové průběhy přechodu na vlastní spotřebu (přejato ze zprávy OSC, a.s.)**

Z naměřeného průběhu lze zjistit mechanická časová konstanta (pomocí tečny k černému průběhu otáček v okamžiku vypnutí), rychlosti zavírání regulačních (světle zelený lomený průběh) i velikost přeběhu otáček (v našem případě 40%). Měřený průběh by měl být analogický s vypočítaným průběhem z Obr. 19 a Obr. 20. Je zde však důležitý rozdíl. Zatímco v simulačním výpočtu byl přechodný děj odregulován regulátorem turbíny, při měření zapůsobila automatika (zřejmě od nadfrekvence 51.5 Hz) a došlo k zavření rychlouzávěru, vypnutí generátorového vypínače a odbuzení. Měřený průběh tedy posloužil k úpravě mechanické časové konstanty (změněna z 5.7 na 8s) a rychlosti zavírání (z -0.145 p.j./s na -0.073 p.j./s) a namodelování zalomení průběhu – při poklesu pod cca 55% se rychlost dále snížila na -0.04 p.j./s (tzv. „buffering“). Měřený přeběh byl menší (40%) než vypočítaný (cca 65%) vlivem rychlejšího zavření přívodu vody rychlouzávěrem než rozvodným kolem turbíny.

#### Literatura

- [ 1 ] K.Máslo: Modelování větrných elektráren pro výpočty dynamické stability, sborník 7. semináře E2004, Praha září 2004/96
- [ 2 ] K.Máslo: Vliv větrných elektráren na provoz ES z hlediska napěťové stability, seminář Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2004
- [ 3 ] REA generating plants connected to the high- and extra-high voltage network, VDE August 2004 edition
- [ 4 ] Sloopweg J.G., Polinder H., Kling W.L., „Reduced Order Models of Actual Wind TurbineConcepts”, IEEE Young Researchers Symposium, 7-8 February, 2002, Leuven
- [ 5 ] K. Máslo : Model a testování ostrovního provozu paroplynového cyklu, sborník III. Mezinárodního vědeckého symposia Elektroenergetika, St.Lesná, září 2005
- [ 6 ] K.Máslo: Využití síťových simulátorů pro přípravu a analýzu provozu ES, seminář Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2005
- [ 7 ] N. Kakimoto, K.Baba: Performance of gas Turbine-Base Plant During Frequency Drops, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No.3, August 2003
- [ 8 ] V.Mach, K. Máslo: Výpočet nesymetrických zkratů na svorkách synchronního stroje programy ATP a MODES, 6. mezinárodní vědecká konference Electric Power Engineering 2005, Dlouhé Stráně červen 2005
- [ 9 ] Certifikace PpS OP a BS na TG1 a TG3 EDA, Zpráva OSC a.s. o měření PpS z 21. 12. 2005