

1. Frekvenční stabilita

Příklad 1-1

Dvě regulační oblasti podle Obr. 1 pracují paralelně. V regulační oblasti OBL_B dojde k výpadku největšího bloku BLOK1 o výkonu 440 MW. Výkonové číslo pro OBL_A je $K_A=613$ MW/Hz a pro OBL_B $K_B=223$ MW/Hz.

Parametry sekundárního regulátoru pro OBL_B volte:

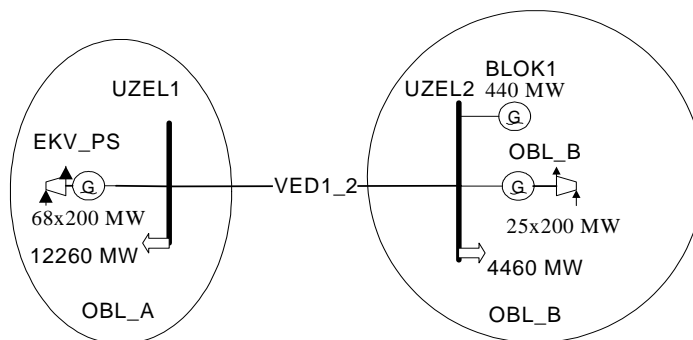
- tzv. k-faktor regulátoru k_{SYS} – ve výši výkonového čísla regulační oblasti
- proporcionální zesílení regulátoru $k_{PROP}=0.9$
- integrační časová konstanta regulátoru $T_I=120$ s.

Zjistěte časové průběhy:

1. odchylky frekvence v propojené soustavě
2. odchylky salda regulační oblasti, v které dojde k výpadku (postižená oblast)
3. výkonů jednotlivých zdrojů postižené oblasti.

Zkontrolujte správnou rychlost sekundární regulace – vyregulování regulační odchylky do 15 minut od vzniku výpadku. Sekundární regulační rezervu (SRR) pro OBL_B volte o velikosti 10 % výkonu bloku, tj. 484 MW a rychlost zatěžování 1% Pn/min..

Nasazení bloků určete tak, aby OBL_B měla vyrovnanou bilanci čili nulové saldo (sama si pokrývala odběr). Pro dynamické modely těchto bloků použijte odpovídající modely z knihovny programu MODES se standardními parametry.



Obr. 1 Jednopólové schéma regulačních oblastí

Řešení:

Z uživatelského rozhraní MODMAN založíme nový projekt:

- ☞ V menu **Projekt** klikneme na položku **Nový**.
- ☞ V dialogu Editor projektů definujeme *Jméno projektu* (např. SKR_KAP7) a jeho *Popis* (např. řešení primární a sekundární regulace f a P).
- ☞ Stisknutím tlačítka **Uložit** se projekt se objeví ve stromu projektů. Jelikož jsme nespecifikovali žádná vstupní data, zkopírujeme se do pracovního adresáře VST data ze standardního projektu NEW. Zároveň vznikne v pracovním adresáři MODESu nový podadresář, který má stejné jméno jako projekt.
- ☞ V menu **Případ** klikneme na položku **Uložit jako**.
- ☞ Definujeme textové okno *Jméno projektu* (např. VYCHOZI) a specifikujeme případ v textovém okně *Popis případu* (např. Výchozí chod sítě).
- ☞ Stisknutím tlačítka **Uložit** se případ objeví ve stromu projektů a vstupní data se objeví v okně **Soubory**.

Nyní se můžeme pustit do úprav vstupních dat tak, aby vyhovovaly našemu zadání. Upravíme nejprve data chodu sítě.

Z tlačítkové lišty spustíme Editor chodů tlačítkem . Opravíme nejprve odebírané výkony v obou uzlech a dodávaný výkon do uzlu UZEL2 definujeme stejný jako odebíraný. U tohoto uzlu doplníme meze $Q_{max}=-Q_{min}=9999$ MVar, čímž se uzle stane napájecím (tzv. PU uzle) a napětí zadáme stejné jako u uzlu UZEL1, tedy 420 kV (aby nebyly přetoky jalového výkonu).

Odpor vedení zadáme nulový a ostatní parametry v tabulce větví ponecháme.

Zbývá dodefinovat obě oblasti. Napřed oblasti zobrazíme v tabulce příkazem **z** menu **Zobrazit/Oblasti**. Opravíme jména 1. oblasti na OBL_A a přidáme druhou oblast příkazem **Editovat/Přidat oblast**. Ve formuláři zadáme jméno oblasti OBL_B a tlačítkem **OK** vložíme novou oblast do tabulky. V tabulce uzlů ještě opravíme u uzlu UZEL2 číslo oblasti na 2.

Před spuštěním výpočtu chodu sítě je nutno opravená data v tabulkách uložit do datových souborů, které jsou vstupem programu pro výpočet chodu sítě. To se provede tlačítkem **Uložit**. Program se zeptá jestli chceme vytvořit novou variantu chodu. To v našem případě není potřeba takže zvolíme **Ne** a opravená data se uloží do původních souborů UST.DAT a VET.DAT.

Jelikož jsme provedli velké změny musíme zvolit z menu **Chod sítě/Start z jmenovitých napětí**. Chod sítě přepočítáme stisknutím tlačítka **Přepočítat chod**. Po přepočtení chodu je v tabulce oblastí nulové saldo pro obě oblasti. Znamená to, že obě oblasti si hradí svoji výkonovou rovnováhu a není export/import mezi oběma oblastmi. Přesvědčíme se o tom také tím, že stiskneme tlačítko **Toky** a u vedení VED1_2 uvidíme, že jím teče jen nabíjecí výkon vedení (daný jeho kapacitou). Podmínky zadání jsou tímto splněny. Pro kontrolu přetiskneme tabulky uzlů, větví a oblastí po provedených úpravách. Tučně vytištěné hodnoty jsou změněny oproti výchozímu chodu sítě.

Tab. 1 Vzhled tabulky uzlů, větví a oblastí

Uziv Cislo	Jmeno Uzlu	Cislo oblasti	Uv (kV)	absU (kV)	argU (stup)	Podb (MW)	Qodb (MVar)	Pdod (MW)	Qdod (MVar)	Qkomp (MVar)	Qmin (MVar)	Qmax (MVar)
1	UZEL1	1	400	420	0	12260	0	12260	-13.2	0	-9999	9999
2	UZEL2	2	400	420	0	4460	0	4460	-13.2	0	-9999	9999

PoradiV	Jmeno Vetve	Uzel Pocat	Uzel Konec	R (Ohm)	X (Ohm)	B (mikroS)	abs{Up(-)/Uk(-)} (-)	arg{Up(-)/Uk(-)} (stup)	Stav (0/1)
1	VED1_2	1	2	0	50	150	1	0	1

Uziv CisloO	Jmeno oblasti	Saldo (MW)
1	OBL_A	0
2	OBL_B	0


Tučně vytištěné hodnoty jsou změněny oproti výchozímu chodu sítě. Kurzívou vytištěné hodnoty dopočítá chod sítě – uzel UZEL1 je referenční uzel¹.

Zbývá doplnit bloky. Příkazem **Zobrazit/Synchr.stroje** se data o blocích objeví ve třetí tabulce dole a nejprve můžeme opravit počet fyzických bloků EKV_PS na zadaných 68. U bloku BLOK1 změním parametry tak, aby odpovídaly výkonu 440 MW. Budeme předpokládat, že blok byl zatížen na plný výkon – Ntmax=440 MW. Ntmin budeme uvažovat poloviční tedy 220 MW. Zdánlivý výkon generátoru Sn vypočteme za předpokladu účinnosti cosφn=0.867, tedy Sn=440/0.867≈508 MVA.

Nyní přidáme zbývajícím blok OBL_B. V tabulce uzlů klikneme na uzel UZEL2 a příkazem **Editovat/Přidat synchr.stroj** z menu otevřeme formulář pro zadání nového bloku. Opravíme napřed jméno bloku na OBL_B. Jelikož máme výkon blok určen počtem fyzických bloků zaškrtneme volbu *Zadej počet fyzických bloků* a pak zadáme do textového pole *Počet bloků* 25. Horní a dolní mez výkonu zadáme stejnou jako u bloku EKV_PS, tedy 100 a 200 MW (jak ukážeme dále je výkon jednoho fyzického bloku určen typovými parametry generátoru). Ostatní data necháme beze změn. Blok uložíme do tabulky bloků tlačítkem **OK**. Výsledná tabulka uzlů vypadá následovně.

Tab. 2 Vzhled tabulky generátorů

StavG	Jmeno Bloku	Jmeno Uzlu	Pocet(-)	Sn (MVA)	Ntmin (MW)	Ntmax (MW)	Xd (-)	Pt (-)	Xt (-)	Part (-)
1	EKV_PS	UZEL1	68		100	200	0	1	0	0
1	BLOK1	UZEL2		508	220	440	0	1	0	1
1	OBL_B	UZEL2	25		100	200	0	1	0	0.805

Výsledek editací uložíme do datových souborů tlačítkem **Uložit** bez potvrzení vzniku nových variant a Editor chodů opustíme tlačítkem **Konec**. Nyní můžeme přistoupit k další fázi přípravy projektu a to definování dynamických modelů. K tomu spustíme Editor dynamických modelů tlačítkem . Definice dynamických modelů spočívá ve dvou krocích:

- výběr potřebného modelu z knihovny modelů programu
- přiřazení parametrů modelu z katalogu typových parametrů.

Oba kroky nám Editor dynamických modelů ulehčuje tím, že v rámečku **Výběr komponenty modelů bloků** máme v seznamech pro budič, generátor, turbínu a zdroj (myslí se zdroj pohonného media pro turbínu) k dispozici všechny dostupné modely z knihovny programu. Zároveň v tabulce se nám zobrazují sady typových parametrů připravené k použití v globálním a lokálním katalogu typových parametrů.

První dva bloky mají záznam v databázi dynamických modelů zděděné po výchozím projektu NEW. U bloku EKV_PS je nutno opravit model generátoru z CONS na PARK (model CONS by udržoval v soustavě konstantní frekvenci). Provede se to tak, že ze seznamu pod tlačítkem generátor (je možné ho před tím i stisknout) vybereme PARK a pak stiskneme tlačítko **Vyměnit model** a výměnu potvrdíme. Zbývá nám definovat primární regulaci bloku resp statiku primární regulace. Pokud budeme celou regulační oblast modelovat jedním blokem o výkonu Pn [MW] jako v našem případě, lze pro vztah mezi procentní statikou primární regulace a výkonovým číslem K v MW/Hz psát vztah:

$$\delta = 2 * P_n / K \quad (6.1)$$

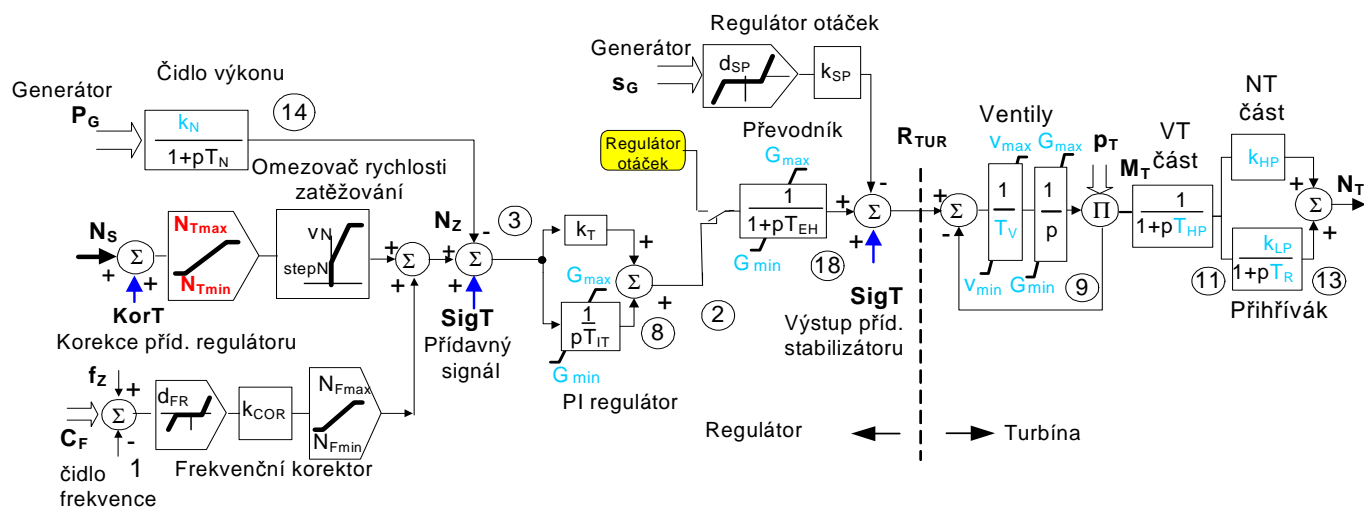
Takže pro blok EKV_PS vychází statika $\delta = 2 * 68 * 200 / 613 = 44\%$.

¹ Referenční uzel je zároveň i bilanční - hradí celkovou výkonovou bilanci soustavy (tzv. „swing bus“)

Pro zdání parametru regulace turbíny stiskneme tlačítko **Regulátor pohonu**. Do tabulky se nahrají sady typových parametrů a ukazatel na levé straně tabulky se přemístí na řádek se sadou parametrů, které má blok přiřazený v databázi modelů. V našem případě je to sada default z globálního katalogu typových parametrů (tento řádek je vždy v tabulce první). Zároveň je sada zkopírována do jednořádkové tabulky v dolní části Editoru modelů. Stisknutím tlačítka Schéma se místo tabulky nakreslí blokové schéma dynamického modelu, takže můžeme vidět přímo parametry v modelu. V našem případě blokové schéma vypadá obdobně jako na Obr. 2. Ve spodním řádku Editoru modelů vidíme parametry zobrazené v obrázku černě. Azurově jsou v obrázku označeny parametry, které se zadávají v typových parametrech turbíny. Primární regulace frekvence je v regulátoru realizována pomocí tzv. frekvenčního korektoru, který je připojen na vstup PI regulátoru výkonu. Místo statiky se v korektoru zadává zesílení k_{COR} , což je vlastně obrácená hodnota statiky převedená z procentních do poměrných hodnot neboli:

$$k_{COR} = 100/\delta \quad (6.2)$$

Pro náš blok tedy vychází zesílení 2.253. Dále se zadává necitlivost korektoru, kterou ponecháme nulovou a omezení N_{fmin} a N_{fmax} . Omezení N_{fmax} ve výši jednoho procenta z výkonu turbíny dává hodnotu primární regulační rezervy bloku EKV_PS a tím i celé regulační oblasti OBL_A o velikosti $0.01 * 68 * 200 = 136$ MW, což je spolu s PRR druhé oblasti málo pro pokrytí výpadku bloku 440 MW. Proto musíme hodnotu N_{fmax} zvětšit alespoň na trojnásobek tedy $N_{fmax} = 3\%$, což by mělo již postačit na pokrytí výpadku. Hodnotu N_{fmin} necháme symetrickou $N_{fmin} = -3\%$.



Obr. 2 Blokové schéma standardního modelu turbíny včetně regulátoru

Je tedy nutno změnit typové parametry regulátoru turbíny. Stiskneme znovu tlačítko **Tabulka** a blokové schéma je nahrazeno tabulkou typových parametrů. Jelikož se v tabulce nevyskytuje žádná sada s výše uvedenými parametry musíme vytvořit novou. To se provede jednoduše tak, že klikneme na poslední prázdný řádek tabulky (značka kurzoru v levém sloupci tabulky se změní na hvězdičku) a stiskneme tlačítko **Přidat novou sadu**. Původní parametry default se zkopírují do prázdného řádku a můžeme je editovat (v režimu editace se hvězdička změní na tužku). Kromě výše uvedených parametrů zadáme také nulový parametr $k_{SP}=0$, čímž vyřadíme z činnosti paralelní regulátor otáček. Parametry také přejmenujeme na PoCF3. Ve jménu je zakódováno, že se jedná o regulátor výkonu (což je dáno tím, že parametr $A1=1$) a omezení korektoru je 3%. Řádek vypadá následovně.

Tab. 3 Nově vytvořená sada typových parametry regulátoru pohonu pro blok EKV_PS

	A1	A2	T _{IT}	T _{IB}	T _N	T _{EHF}	k _T	k _B	k _{SP}	k _{FR}	k _{COR}	k _{Pres}	k _{For}	GEN	v _N	step _N	d _{FR}	d _{SP}	d _{Pres}	d _P	N _{Fmax}	N _{Fmin}
	(-)	(-)	(s)	(s)	(s)	(s)	-	-	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	%/m	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
PoCF3	1	0	10	100	1	0.1	1	1	0	0	2.253	1	0.5	1	1	0	0	0.05	0	0	3	-3

V tabulce jsem zvýraznil tučným tiskem změněné parametry. Po uskutečnění všech oprav klikneme na jiný řádek, čímž se ukončí režim editace a opravený řádek se uloží do paměti. Nyní můžeme nově vytvořenou sadu parametrů vyměnit za původní default tlačítkem **Vyměnit parametry**.

Pozn.: pokud je nutné práci na projektu přerušit je možno si dílčí změny provedené v databázi modelů uložit. Proveďte se to tlačítkem **OK**. Editor se zeptá jestli chceme vytvořit novou modifikaci. Zadáme **NE** a tím se opravené záznamy uloží do základní databáze dynamických modelů BLOK.DTB. Pak znovu spustíme Editor modelů bloků a pokračujeme v úpravách. Pro začátečníky se doporučuje provádět si ukládání průběžně, aby po rozsáhlých editacích a eventuální chybné operaci, která není v Editoru modelů ošetřena, nepřišli o úpravy.

Parametry bloku BLOK1 můžeme nechat beze změny, protože po výpadku neovlivní průběh frekvence soustavy. Dále bude nutno definovat dynamické modely nově vytvořeného bloku. Posuneme se dále v **Seznamu bloků** na blok OBL_B. V textovém okně napravo od seznamu je vypsáno noRecord, což znamená, že blok nemá záznam v databázi dynamických modelů. Stiskneme tlačítko **Přidat záznam** a Editor modelů přiřadí bloku standardní modely buzení a turbíny (s konstantním

tlakem páry) a Parkův model generátoru. Zároveň se všem modelům přiřadí parametry default, které jsou uloženy v globálním katalogu typových parametrů¹ – tvoří vždy první sadu v jednotlivých úsecích.


Nyní provedeme editaci těchto standardních modelů a parametrů. Pro generátor není třeba nic měnit, protože parametry default přísluší právě stroji 200 MW. Rovněž u turbíny není potřeba nic měnit, protože v souladu se zadáním je standardní model již přiřazen. Zbývá definovat primární regulaci. Stiskneme tlačítko **Regulátor pohonu**. Podle polohy ukazatele v tabulce vidíme, že blok má přiřazen parametry default. Z tabulky vybereme nově vytvořenou sadu parametrů PoCF3 tím, že na řádek klikneme, a přiřadíme je bloku tlačítkem **Vyměnit parametry**.

Tlačítkem **OK** změny uložíme. Editor se zeptá, jestli chceme vytvořit novou modifikaci. Zadáme **Ne** a tím se opravené záznamy uloží do základní databáze dynamických modelů BLOK.DTB, jejíž obsah je v následující tabulce.

Tab. 4 Databáze dynamických modelů bloků

Jméno Bloku	Jméno Uzlu	TypPar	Model	TypPar	Model	TypPar	TypPar	TypPar	Model	TypPar
		Generátoru		Budiče		Regul.	Prid.aut	Turbíny		Regul.
BLOK1	UZEL2	J950	PARK	AC_1	AC_1	RNG	default	ST_A	ST_A	CoCFp
EKV_PS	UZEL1	default	PARK	default	STAN	default	default	default	STAN	PoCF3
OBL_B	UZEL2	default	PARK	default	STAN	default	default	default	STAN	PoCF3


V tabulce jsou tučně zvýrazněny relevantní modely a jejich typové parametry. Modely buzení jsme nechali beze změn neboť neovlivňují řešení našeho problému.


Po spuštění simulace tlačítkem  nám grafika ukáže rovné průběhy veličin bloku BLOK1, takže výchozí ustálený stav je odladěn správně a můžeme ho uložit jako případ² příkazem **Případ/Uložit jako** kde zadáme jméno případu UST_STAV a případ popíšeme např. Výchozí ustálený stav soustavy.

Nyní je možno pokračovat ve tvorbě projektu. Budeme nejprve vyšetřovat odezvu primární regulace na výpadek bloku BLOK1. Za tímto účelem provedeme úpravy parametrů výpočtu:

1. prodloužíme dobu výpočtu na 80 s, aby bylo možno sledovat tzv. střednědobou dynamiku
2. zadáme výpadek bloku BLOK1 ve scénáři
3. zadáme proměnné pro sledování odezvy bloků v grafice
4. definujeme uživatelské výstupní soubory pro uložení proměnných pro zpracování po ukončení výpočtu.

Parametry výpočtu změníme příkazem **Modifikovat/Rízení výpočtu**. Na kartě **Dynamic simulation** zadáme dobu výpočtu v okně **Time of simulation** na 80 s, vzorkovací periodu v okně **Sampling period** na 1 s. Ostatní parametry můžeme ponechat, stiskneme tlačítko OK a potvrdíme vznik nové varianty³.

Výpadek bloku zadáme ve scénáři – definujeme časový okamžik, objekt a druh zásahu. Stiskneme 1. tlačítko  v třetí skupině na tlačítkové liště, čímž se otevře dialog pro scénář, který je zatím prázdný. Stiskneme tlačítko **Přidat zásah**, v rámečku **Typ objektu** je Generátor již předvolen. Ze seznamu vybereme zásah UNIT, který změní stav bloku, čas změny zadáme 0.1 s a stiskneme tlačítko **Přidat objekt**. Blok BLOK1 je už navolen, takže postačí specifikovat změnu přepnutí na VYP. Dvojitým stiskem tlačítek **Přidat** a **Zruš** se zásah uloží do seznamu. Nově vytvořený scénář uložíme stisknutím tlačítka **OK** a potvrdíme vznik nové varianty tlačítkem **Ano**.


Nyní definujeme proměnné, které se budou zobrazovat během výpočtu na obrazovce (tzv. grafika) a které se budou ukládat do výstupních souborů pro zpracování po skončení výpočtu. Stiskneme 2 tlačítko  v třetí skupině na tlačítkové liště. V rámečku pro 1. graf stiskneme tlačítko **Vyřadit vše**, čímž se ze seznamu vyřadí všechny dosavadní proměnné. Podle zadání máme vyšetřovat odchylku frekvence a salda. Do prvního grafu tedy vložíme tyto proměnné. Stiskneme tlačítko **Přidat proměnnou**. Obě proměnné budeme požadovat vypisovat v pojmenovaných hodnotách (v mHz a MW), proto zaškrtneme volbu **Výpis do souboru v pojmenovaných hodnotách**. Odchylku frekvence představuje proměnná SU zadávaná pro uzlu. Z výběru objektů zvolíme **Uzly** a ze seznamu proměnných vybereme SU. UZEL1 je již navolen takže výběr potvrdíme stisknutím tlačítka **Přidat**, čímž přidáme proměnnou do seznamu. Saldo budeme sledovat pomocí toku činného výkonu na „hraničním vedení“ mezi oblastmi VED1_2. Z výběru objektů zvolíme **Větve** a ze seznamu proměnných vybereme PV. VED1_2 je již navoleno, takže ji tlačítkem **Přidat** přidáme do seznamu v 1.grafu a opustíme dialog pro zadání proměnných tlačítkem **Zrušit**. Rozsah osy Y změníme na -1 až 1. Pak přidáme druhý graf změnou 1 na 2 v textovém okně **Počet grafů**. V rámečku pro 2. graf stiskneme tlačítko **Vyřadit vše** a stiskneme tlačítko **Přidat proměnnou**. Z výběru objektů zvolíme **Turbíny** a ze seznamu proměnných vybereme NT. Ze seznamu objekt postupně přidáme bloky EKV_PS a OBL_A. Tlačítkem **Zrušit** opustíme dialog. Rozsah osy Y změníme na 0 až 1. Nakonec můžeme opravit levý titulek v grafice např. na PRIMARNÍ REGULACE. Pak stiskneme tlačítko **OK** a vytváříme novou variaci zadáním **Ano**.

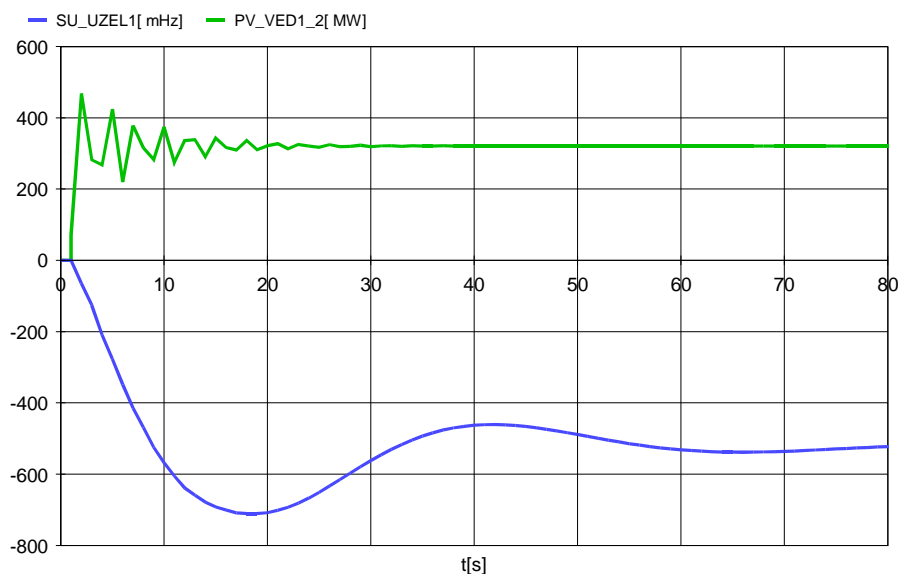
¹ Globální katalog je uložen v podadresáři GLOBAL.DAT pracovního adresáře MODEu a je přístupný všem projektům, na rozdíl od lokálního katalogu, který slouží jen danému projektu

² Každou ucelenou etapu výpočtu je vhodné si ukládat jako tzv.případ –to nám umožní se k této etapě později vracet a případně z ní vyjít pro jiný výpočet

³ Vznik nové varianty zvolíme vždy, když chceme zachovat původní data

Zbývá definujeme uživatelské výstupní soubory, kam se ukládají časové průběhy proměnných z grafiky. Příkazem **Modifikovat/Uživatelské výstupní soubory** se dostaneme do příslušného dialogu. Napřed smažeme generické jméno souborů¹ a pak stiskneme tlačítko **Add user file**. Na kartě *Variables from display* zvolíme proměnné z 1. a 2. grafu a tlačítkem **Add** je přidáme do seznamu souborů. Pak stiskneme tlačítko **OK** a vytváříme novou variaci zadáním **Ano**.

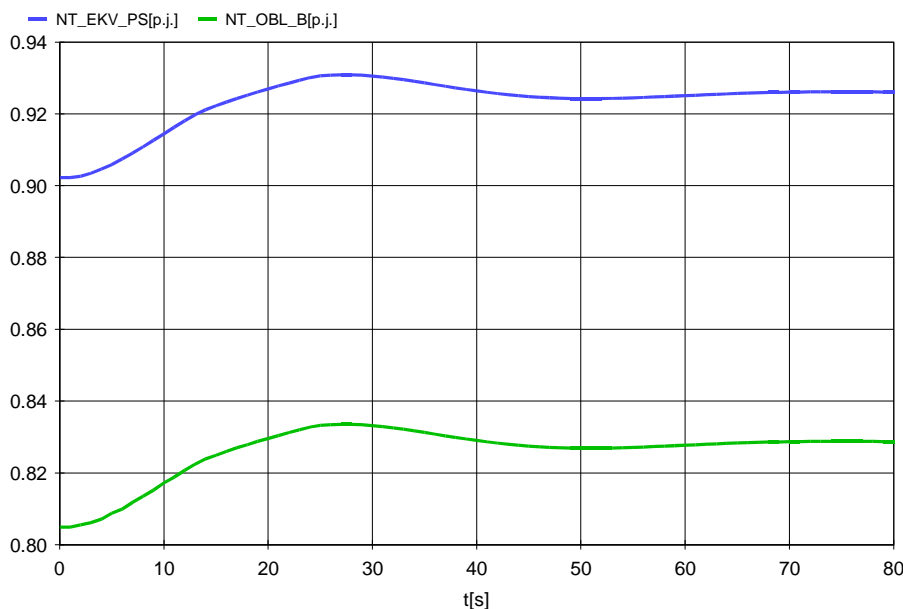
Nyní můžeme spustit simulaci tlačítkem . Grafika nám ukáže typický frekvence podle následujícího obrázku.



Obr. 3 Průběhy toku výkonu hraničním vedením a průběh odchylky frekvence –primární regulace

Z obrázku je vidět, že po odeznění přechodných dějů se tok hraničního vedení PV ustálí na hodnotě $\Delta P = 320.6$ MW a odchylka frekvence SU na hodnotě $\Delta f = -522.7$ mHz. ΔP vlastně představuje výpomoc regulační oblasti OBL_A podle principu solidarity a odpovídá výkonovému číslu 613 MW/Hz podle zadání.

Následující obrázek ukazuje časové průběhy výkonu turbín NT v poměrných hodnotách vztažených na P_n bloku..



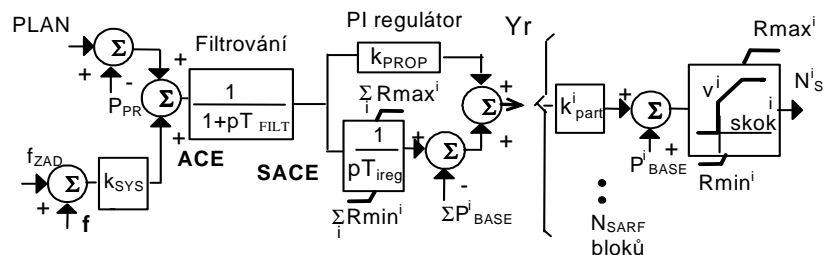
Obr. 4 Časové průběhy výkonu turbín po výpadku bloku

Je vidět správná odezva primární regulace, která vyrovná výkonovou rovnováhu – mechanický výkon turbín se rovná elektrickému výkonu generátorů (ten je určen odebíraným výkonem v soustavě). Příklad uložíme příkazem **Příklad/Uložit jako**, kde zadáme jméno případu PRIMREG a případ popíšeme např. Střednědobá dynamika primární regulace f po výpadku bloku 440 MW.

Z Obr. 3 je patrné, že po výpadku bloku zůstala v propojené soustavě odchylka frekvence, což je dáno tím, že primární regulace frekvence má proporcionální charakter. Pro vyregulování frekvence na zadanou hodnotu a pro obnovení

¹ Pokud je generické jméno prázdné budou uživatelské soubory pojmenovány jménem případu.

výchozí výkonové bilance (kdy každá z regulačních oblastí si pokrývala svou výkonovou rovnováhu –předávaný výkon mezi oblastmi byl nulový) slouží sekundární regulace f/P, která je realizována centrálním regulátorem f a P. Blokové schéma modelu tohoto regulátoru je na následujícím obrázku:



Obr. 5 Zjednodušené blokové schéma modelu regulátoru f/P implementované v programu MODES

Centrální regulátor vyhodnocuje svou regulační odchylku - tzv. ACE ('area control error'), která zajišťuje regulaci podle síťových charakteristik. Regulační odchylka se skládá z odchylky:

- salda - rozdílu plánovaného salda a skutečného toku hraničního profilu (export je kladná hodnota)
- frekvence od zadané hodnoty (obvykle 50 Hz) násobené K-faktorem k_{SYS} , který odpovídá výkonovému číslu soustavy

Regulační odchylka se odfiltruje z důvodů eliminace vysokofrekvenčních šumů (viz [1]). Filtrovaná odchylka SACE je zpracována v proporcionálně integračním regulátoru. Výstup regulátoru se rozdělí přes participační koeficienty k_{part} na jednotlivé regulační bloky.

Součet regulačního příspěvku a základního výkonu P_{BASE} (je určován nasazením bloku ve výchozím ustáleném stavu), je omezen jak co se týče rychlosti, tak i velikosti a je poslán na jednotlivé bloky jako proměnná N_s , která vstupuje do modelu regulátoru pohonu (viz Obr. 2). V případě, že je sekundární regulační rozsah pro všechny bloky vyčerpán (N_s^i je rovný N_{Rmin}^i nebo N_{Rmax}^i) je integrační část PI regulátoru zablokována.

Nyní se můžeme pustit do rozšíření modelu pro simulaci sekundární regulace f a P:

1. definujeme tzv. profil, nový objekt sítě – měření činného výkonu na profilu bude sloužit jako vstup do regulátoru f a P
2. zadáme parametry regulátoru f a P
3. prodloužíme dobu výpočtu na 600 s (odpovídá 15 minutám) se vzorkováním po 5 s
4. aktivujeme regulátoru f a P pomocí scénáře
5. doplníme v 2.grafu proměnou NS, zby byla vidět činnost sekundární regulace.

Program na výpočet chodu sítě sice automaticky vygeneruje profily mezi oblastmi, ale v našem případě (jak je možno vidět v tabulce profilů vstupního souboru UST.DAT) tvoří tento standardní profil 'P 2_ 1' vedení VED1_2, kde počáteční je uzel v OBL_A a koncový uzel je v OBL_B. Tok činného výkonu vedení i profilu je orientován kladně pokud vytéká z počátečního uzlu, což je u profilu 'P 2_ 1' z OBL_A do z OBL_B, což je opačně jak potřebujeme pro regulátoru f a P oblast OBL_B, kdy musí být tok profilu kladný pro export. Proto budeme definovat vlastní profil pomocí příkazu **Modifikovat/Kontrola**. Při zaškrtnuté volbě *Dialogy* se otevře formulář, kde v Rámečku *Profiles* stiskneme tlačítko **Add**, v textovém okně *Name* zadáme jméno PROFIL a v rámečku *Identify branch* přepneme na *Receiving end*, čím se větve v profilu orientuje opačně jak potřebujeme – kladný bude výkon vytékající z oblasti OBL_B. Tlačítkem **Add** přidáme nový profil do seznamu a tlačítkem **Ecsape** opustíme výběr objektů. Stisknutím OK bez vzniku nové variace se nová profil přidá do seznamu kontrolovaných objektů sítě.


Parametry sekundární regulátoru f a P se zadávají do vstupního souboru AUTSEK.DAT, který je přístupný příkazem **Modifikovat/Regulace P/f**. Jako vzor pro jeho vyplnění je možno použít vzorový soubor z projektu LONG a opravit ho do výsledné podoby, která je v následující výpisu:

```
soubor AUTSEK.DAT obsahuje údaje o regulátorech P a f oblasti
Nsec: pocet oblasti s centralnim regulátorem P a f


1
*****
Jmeno   Vyk.cislo Tsamp Tfilt Kp   Kprop Tired   necR   Nsarf   fZad Plan   Jmeno [Sestimistny retezec]
oblasti [MW/Hz] [sec] [sec] [-] [-] [sec] [MW] [-] [-] [Hz] [MW]   profilu uzlu pro mereni f
Nsecx
'OBL_B' 223.    5    20.    1    0.9   120.    0    1    50    0    'PROFIL' 'UZEL1'
*****
jm. bloku nec1 Kc   Kpart Rmin  Rmax   necNR   skokNR   trend zatezovani -v
['xxxxxx'] [MW] [1] [%] [MW] [MW] [MW] [MW] [MW/min]
(Nsarf1+..NsarfNsec)x
'OBL_B' 20    1    100    140    180    1    0    2
*****
Typ      necR   Ti   Kprop   necOm skokOm   vOm      NY   Tsamp NS*   RS*   *pouze pro Y1
[MW] [sec] [-] [%] [%] [%/min] [-] [s] [MW] [-]
2xNsec
'VE-Y1 ' 0   100  0.05   0.05  0    1.    0   40   30   2
'KE-Y3 ' 0   400  0.05   0.1   0    1.    0   40
*****
```

Periodu výpočtu T_{samp} a časovou konstantu filtru T_{filt} volíme 5 a 20 s. N_{sarf} určuje počet regulačních bloků. Hodnota $Plan$ definuje zadané saldo, v našem případě 0. Parametr $nec1$ určuje velikost odchylky při, které se provede tzv. forsírovka – zdvojnásobení rychlosti zatěžování oproti zadané hodnotě. V našem případě forsírovka požadovaná není, takže zadáme $nec1$ dostatečně vysokou 20 MW, aby forsírovka nepůsobila. Tyto parametry se zadávají v úseku parametrů regulátoru. Po něm následuje úsek jednotlivých regulačních bloků – v našem případě pouze bloku OBL_B. Je potřeba zadat regulační rozsah v poměrných hodnotách vztažených na jmenovitý výkon turbíny. Podle zadání mám být regulační rezerva $\pm 10\%$ kolem pracovního bodu P_{BASE} , kterému odpovídá výchozímu zatížení bloku, které je podle Obr. 4 pro blok OBL_B kolem 80% -cca 160 MW. Předpokládejme, že ve výchozím stavu bude P_{BASE} uprostřed regulačního pásma. Z toho plynou hodnoty $R_{\text{min}}=140$ MW a $R_{\text{max}}=180$ MW. Trend zatěžování je určen zadanou rychlostí 1% P_n /min neboli v pojmenovaných hodnotách 2MW//min, vše vztaženo na jeden fyzický blok o výkonu $P_n=200$ MW. V dalších úsecích se zadávají parametry části regulace pomocí tzv. směrných hodnot, které v našem případě nevyužíváme, takže je můžeme nechat beze změny (každá regulační oblast se zadaným regulátorem f a P má dva řádky, takže je třeba ponechat v tomto úseku dva řádky).

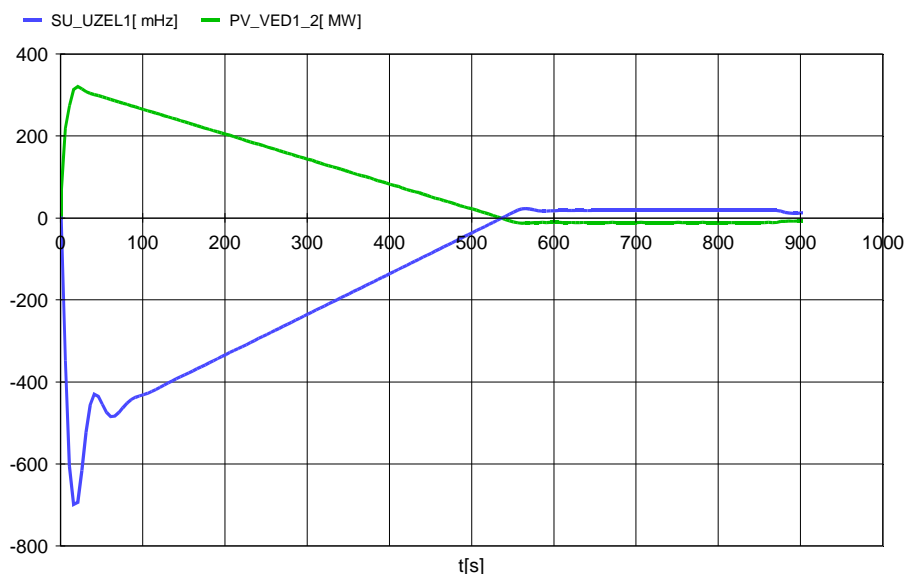
Prodloužení doby výpočtu a vzorkování na 600 a 5 s provedeme známým způsobem příkazem **Modifikovat/Rřízení výpočtu** s potvrzením vzniku nové varianty.

Aktivaci regulátoru f a P v čase $t=0$ zadáme ve scénáři. Připravíme si napřed novou variantu scénáře a stiskneme 1. tlačítko . Stiskem tlačítka **OK** s potvrzením vzniku nové varianty tlačítkem **Ano**. Se vytvoří nová varianta datového souboru se scénářem, který budeme dále editovat v textovém režimu. Vypneme volbu *Dialogy* v menu **Modifikovat** a příkazem **Modifikovat/Scénář** spustíme zvolený textový editor. Před vypnutím bloku vložíme tři řádky zásahu aktivujícího náš regulátor fa P jak ukazuje následující výpis souboru SCENAR.002.

```
0, 'AUTO'
1
'LFC' , 1 , 0
1, 'UNIT'
1
'BLOK1' , 0 , 0
10000, 'END'
```

Řádky jsou zvýrazněny tučným tiskem. Soubor pak uložíme. Zadání přídatné proměnné do grafiky zadáme známým způsobem pomocí 2 tlačítka  na tlačítkové liště. Proměnou NS vybíráme s proměnných regulátoru turbíny.

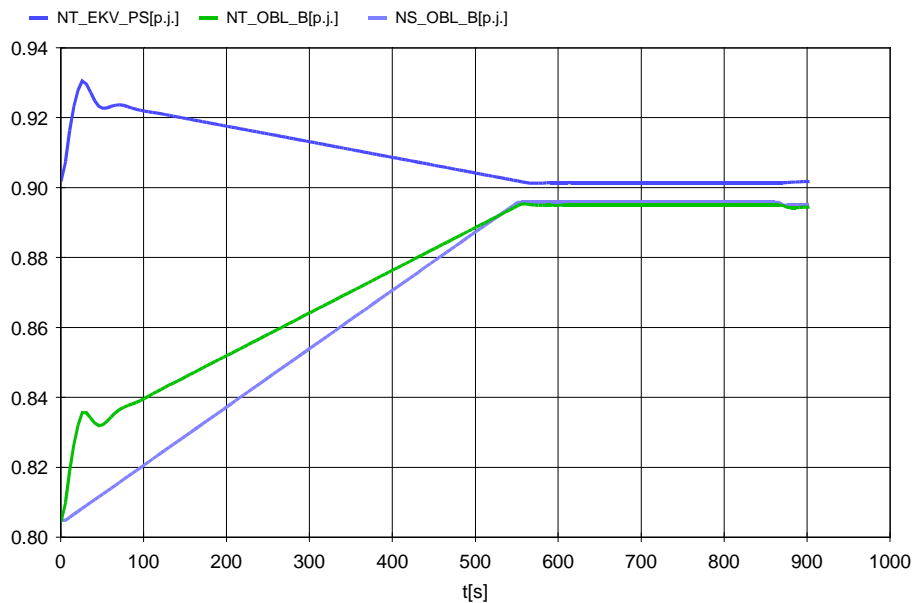
Po spuštění simulace nám grafika v 1.grafu ukáže odregulování odchylky salda a frekvence podle následujícího obrázku:



Obr. 6 Průběhy toku výkonu hraničním vedením a průběh odchylky frekvence –sekundární regulace

Přibližně do 10 minut jsou obě odchylky srovnány blízko k nule a v 15 minutě činí odchylka salda -7.7 MW a odchylka frekvence necelých 12 mHz, čili obě odchylky jsou prakticky vyregulovány. "

Na závěr ukážeme ještě časové průběhy výkonu turbín NT:



Obr. 7 Časové průběhy výkonu turbín po výpadku bloku - působení sekundární regulace f a P

Proměnná NS ukazuje výkon požadovaný sekundární regulací f a P. Blok OBL_B postupně přebírá solidární výpomoc ze sousední oblasti OBL_A a obnovuje výkonovou bilanci ve své oblasti OBL_B (postižené výpadkem) podle principu neintervence. Výkon bloku EKV_PS se varcí na původní hodnotu před výpadkem.

Na závěr případ uložíme jako SEKREG a případ popíšeme např. Dlouhodobá dynamika - sekundární regulace f po výpadku bloku 440 MW.

Podrobnější informace o činnosti primární a sekundární regulace lze najít např. v [2] [3] .

Literatura

- [1] K.Máslo, V.Černý, A.Fialová, P. Janeček: Odchylkový model provozu ES, sborník 9. semináře E2005, Praha září 2005
- [2] P.Švejnar, K.Máslo, S.Vnouček: Dynamická odezva ES na deficit činného výkonu, Energetika č.6/1994
- [3] Kolcun a kol.: Riadenie prevádzky ES, vydavateľství Mercury-Smékal 2001, ISBN 80-89061-57-5