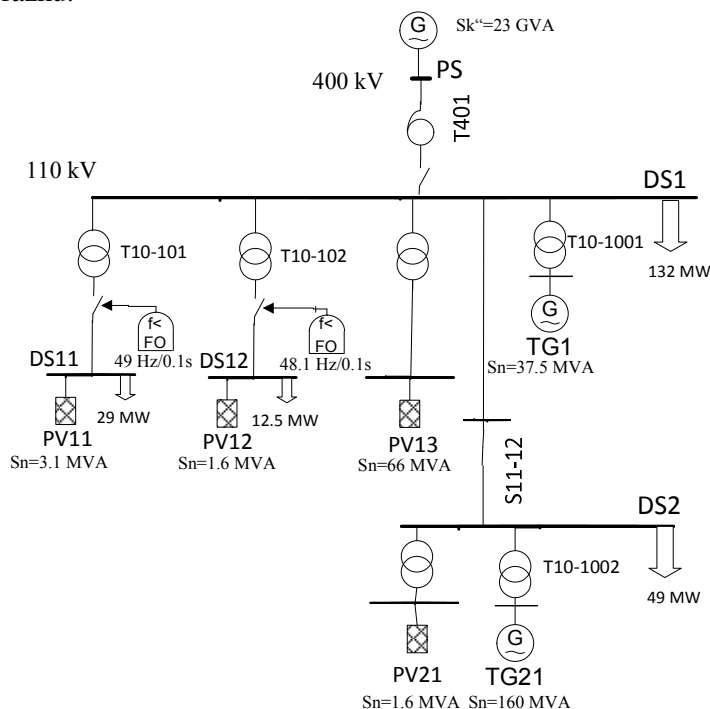


Případ OSTROV

Přechod do deficitního ostrova s FvE na generickém modelu uzlové oblasti

Pro analýzu chování vydělených částí distribuční sítě byl při odchylkách frekvence (ale i při jiných poruchách v síti typu zkratů) byl vytvořen abstraktní tzv. generický model uzlové oblasti 110 kV (UO), který ve zjednodušené podobě postihuje základní rysy distribuční sítě napájené síťovým transformátorem ZVN/110 kV. Jednopolové schéma je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 1 Schéma generického modelu UO

UO 110 kV je zjednodušeně modelována dvěma uzly DS1 a DS2. Do uzlu DS1 jsou připojeny vývody s distribučními transformátory 110/22 kV, agregované výroby (v klasických zdrojích TG1 i FvE PV13) a spotřeba. Jednotlivé vývody mohou být opatřeny frekvenčními ochranami s různým nastavením (odpovídajícím stupňům SAFO i stupňům lokálního frekvenčního odlehčování). Do uzlu DS2 jsou zapojeny zdroje PV21, TG21 a agregovaná zátěž (model je podrobněji popsán v [1]).

Případ demonstruje jednak nové modely FvE a jednak nový objekt frekvenční ochrany (FO), která vypíná zadanou větev při dosažení odchylek frekvence sítě při splnění některé z podmínek:

$$f_M > f_{NI} \text{ and } \Delta t > T_{NI} \quad \text{pro } N_N \text{ nadfrekvenčních stupňů (max. 2)}$$

$$f_M < f_{PI} \text{ and } \Delta t > T_{PI} \quad \text{pro } N_P \text{ podfrekvenčních stupňů (max. 4)}$$

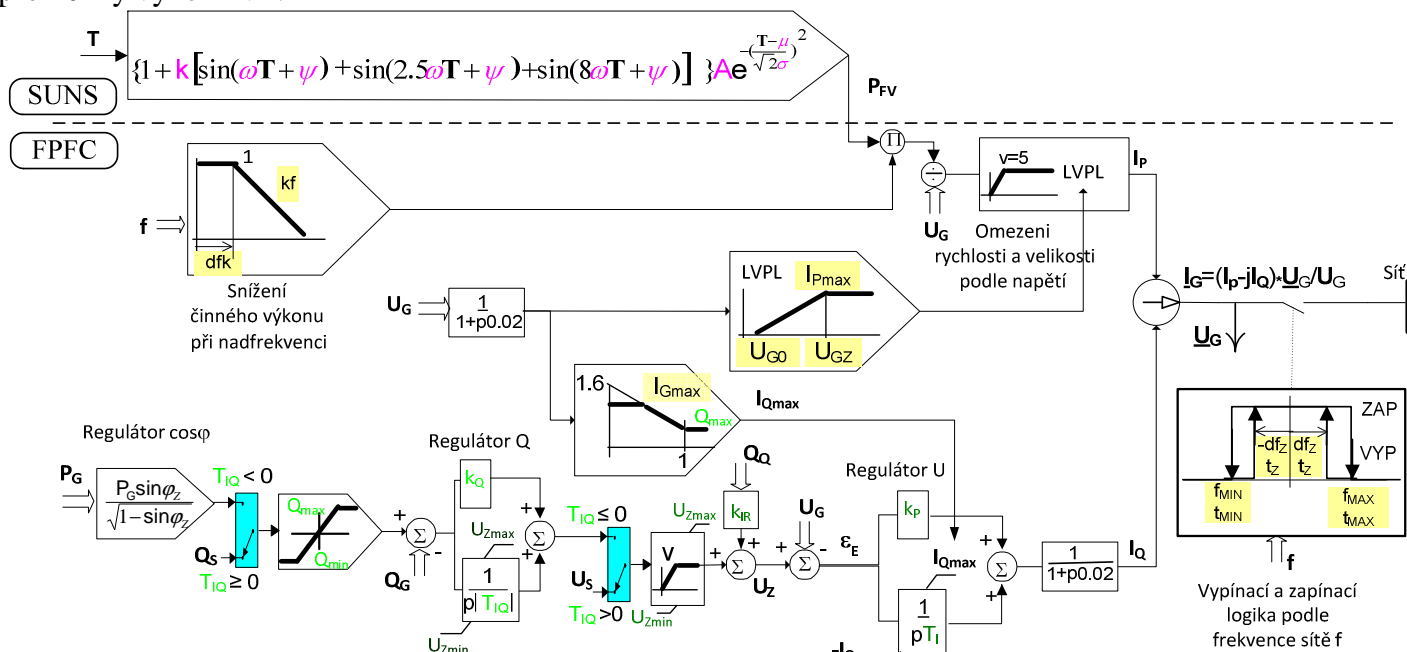
$$|df_M/dt| > df_I \text{ and } \Delta t > T_{dI} \quad \text{pro } N_D \text{ derivačních stupňů (max. 2)}$$

Následující výpis ukazuje data FO v sekci frekvenčních ochran souboru AUTOMAT.DAT:

Poc. Stav	Ochrany	Jmeno Uzlu	Vetve	NN	NP	ND	{fN [Hz]}	{T [s]}	*NN	{fP [Hz]}	{T [s]}	*NP	{fD [Hz/s]}	{T [s]}	*ND	Tvyp [s]
-1	'FO_11'	'DS11'	'T10-101'	0	1	0				49.0	0.1				*NFOx	0.1
-1	'FO_12'	'DS12'	'T10-102'	0	1	0				48.1	0.1					0.1
-0	'AVO_PTI'	'E_TG2'	'S11-12'	0	1	0				47.9	1					0.1
-1	'FO_TG1'	'E_TG1'	'T10-1001'	1	1	0	53	1.0		47.5	0.5					0.1
-1	'FO_TG21'	'E_TG2'	'T11-1101'	1	1	0	53	0.8		47.5	1					0.1

Znaménko mínus u počátečního stavu znamená, že se nevypisuje varování FO do výstupního souboru AKCE.HLA. Ve výpisu je pět FO. Všechny mají definovaný jeden podfrekvenční stupeň a zbylé dvě mají navíc i jeden nadfrekvenční stupeň.

FvE mají definovaný model SUNS, který simuluje proměnlivost intenzity slunečního záření a tím i proměnný výkon FvE.



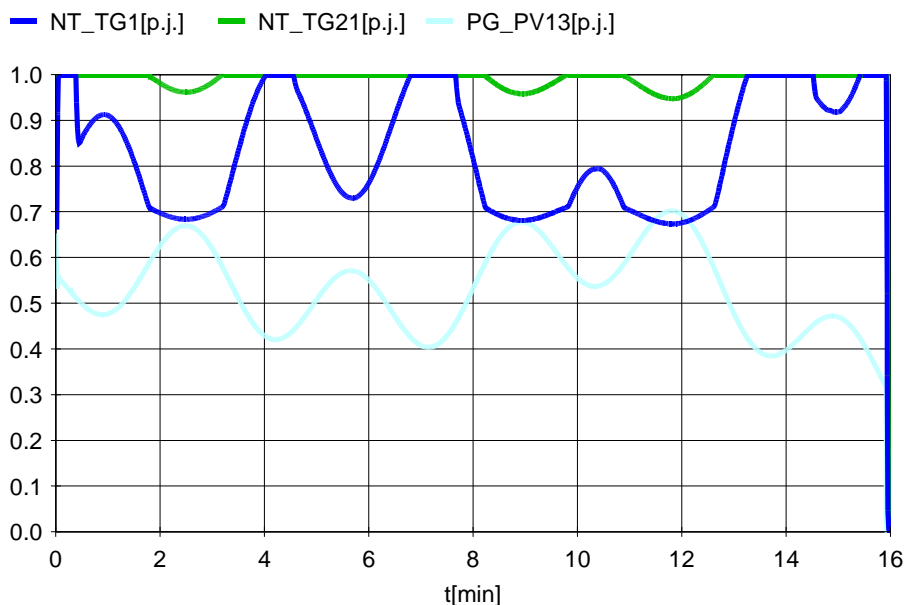
Obr. 2 Blokové schéma modelu FvE

Pro modely jsou zadány následující parametry:

U_n kV	$\cos \phi_n$	S_{na} MVA	f_{MAX} Hz	f_{MIN} Hz	df_z Hz	T_{MAX} s	T_{MIN} s	T_f s	df_k Hz	K_f %/Hz	$Ramp$ %/min	I_{Gmax}	I_{Pmax}	U_{G0}	U_{GZ}
0.69	0.9	2.775	52	47.5	0.05	2	2	50	0.2	40	50	1.1	1.11	0.4	0.9

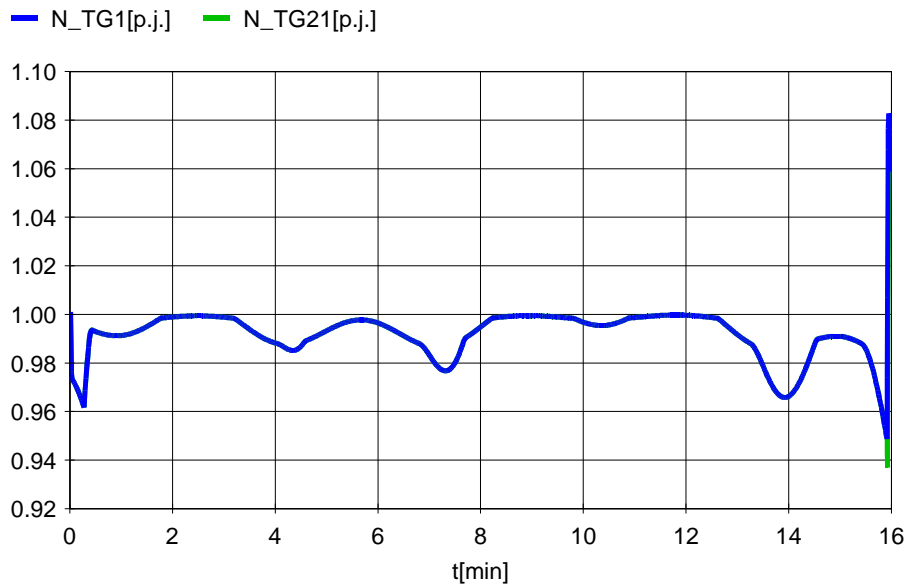
A(-)	$\mu(-)$	$\sigma(-)$	K(-)	$\omega(-)$	Psi(-)
0.501	13.04	3.09	0.2	15.07	20

Iničiační poruchou je výpadek napájení z PS, kdy UO přejde do ostrovního provozu. Vlivem proměnné oblačnosti se po přechodu do ostrova mění výkon FvE PV13, jak ukazuje následující obrázek:



Obr. 3 Časový průběh výkonu FvE a obou klasických bloky v ostrově

Oba bloky TG1 a TG21 se po přechodu do ostrova přepnuly automaticky do regulace otáček (od odchylky frekvence -200 mHz) a regulují frekvenci ostrova, jak je vidět podle průběhů jejich otáček na následujícím obrázku, pod nímž je výpis hlášení programu z výstupního souboru AKCE.HLA.



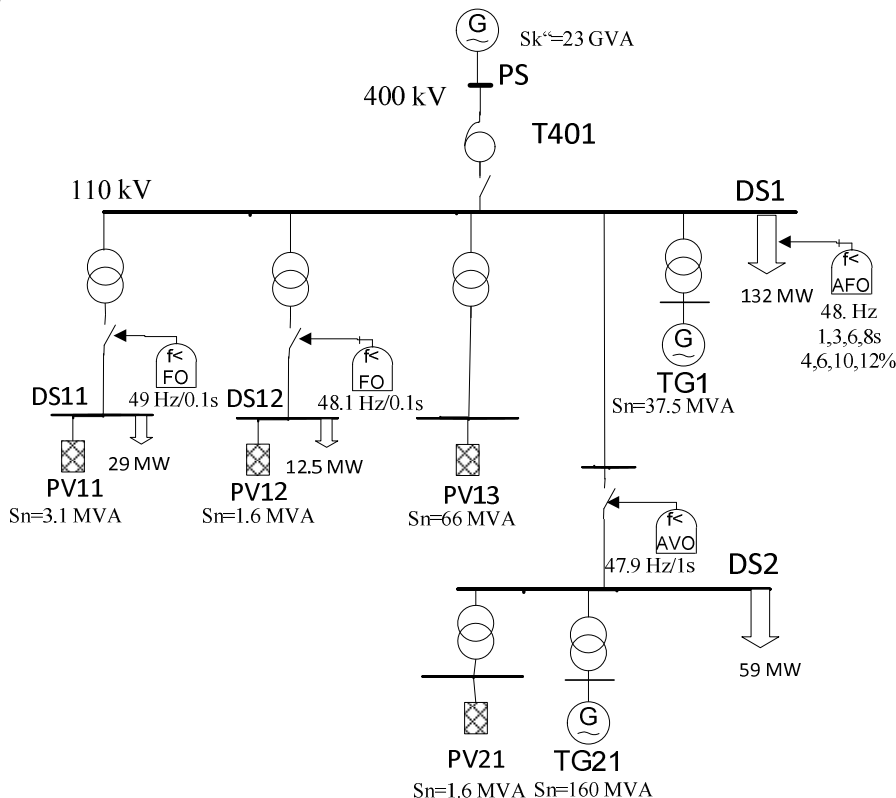
12:00:01	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:01	T401	VETEV	VYPNUTA	scenarem					
12:00:01	TG1		prepnuo na regulaci otacek	interni	-0.004	-0.004			
12:00:01	TG21		prepnuo na regulaci otacek	interni	-0.004	-0.004			
12:00:01	FO_11	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	48.90	49.00
12:00:02	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:02	T10-101	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_11					
12:00:16	FO_12	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	48.09	48.10
12:00:16	FO_12	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:00:16	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:16	T10-102	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_12					
12:15:54	FO_TG1	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	47.45	47.50
12:15:54	FO_TG1	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:15:54	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:15:54	T10-1001	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_TG1					
12:15:55	FO_TG21	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	47.03	47.50
12:15:55	FO_TG21	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:15:55	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:15:55	T11-1101	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_TG21					
12:15:56	PV13		podfrekvence - blok vypnut	Ochrano	1	46.919		47.500	
12:15:56	PV21		podfrekvence - blok vypnut	Ochrano	1	46.918		47.500	
12:15:56	DS2		Odlehčení v ostrovu: %,MW blackout vypadkem zdroje			100.000		47.478	
12:15:56	DS1		Odlehčení v ostrovu: %,MW blackout vypadkem zdroje			100.000		128.467	

Obr. 4 Časový průběh otáček regulačních bloků

Výpis začíná časem 12:00, tento výchozí čas je definován ve vst.souboru RIZENI.DAT (je nutno zadat, aby byla simulována proměnná výroba FvE podle denního času. Po vzniku deficitního ostrova frekvence klesá a při dosažení hodnoty 49 resp. 48.1 Hz první dvě FO vypínají uzly DS11 a DS12, čímž se zastaví pád frekvence a ta se zotaví na hodnotě blízké k jmenovité. Vlivem proměnné výroby ve FvE se frekvence mění a je udržována změnou výkonu obou regulačních bloků, jak je vidět z Obr. 3. Po patnácté minutě však bloky dosáhnou maximálního výkonu, frekvence klesá dál a po dosažení 47.5 Hz jsou bloky vypnuty na vlastní spotřebu čtvrtou a pátou FO. FvE jsou vypnuty od podfrekvence svou vypínací logikou, která je součástí modelu FPFC (viz Obr. 2).. Jelikož v ostrově už není další zdroj, dojde k úplnému výpadku napájení – blackout.

Přechod do deficitního ostrova s FvE , lokálním odlehčováním zátěže a vydělováním ostrova

Tyto případy navazují na předchozí případ OSTROV a demonstrují možnosti obrany proti frekvenčnímu kolapsu vedoucímu k blackoutu. první případ demonstruje činnost automatického podfrekvenčního odlehčení zátěže OST_AFO. Pro analýzu chování vydělených částí distribuční sítě byl při odchylkách frekvence (ale i při jiných poruchách v síti typu zkratů) byl vytvořen abstraktní tzv. generický model uzlové oblasti 110 kV (UO), který ve zjednodušené podobě postihuje základní rysy distribuční sítě napájené síťovým transformátorem ZVN/110 kV. Jednopolové schéma je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 5 Schéma generického modelu UO

UO 110 kV je zjednodušeně modelována dvěma uzly DS1 a DS2. Do uzlu DS1 jsou připojeny vývody s distribučními transformátory 110/22 kV, agregované výroby (v klasických zdrojích TG1 i FvE PV13) a spotřeba. Jednotlivé vývody mohou být opatřeny frekvenčními ochranami s různým nastavením (odpovídajícím stupňům SAFO i stupňům lokálního frekvenčního odlehčování). Do uzlu DS2 jsou zapojeny zdroje PV21, TG21 a agregovaná zátěž (model je podrobněji popsán v [1]).

Případ demonstruje jednak nové modely FvE a jednak nový objekt frekvenční ochranu (FO), která vypíná zadanou větev při dosažení odchylek frekvence sítě při splnění některé z podmínek:

$$f_M > f_{NI} \text{ and } \Delta t > T_{NI} \quad \text{pro } N_N \text{ nadfrekvenčních stupňů (max. 2)}$$

$$f_M < f_{PI} \text{ and } \Delta t > T_{PI} \quad \text{pro } N_P \text{ podfrekvenčních stupňů (max. 4)}$$

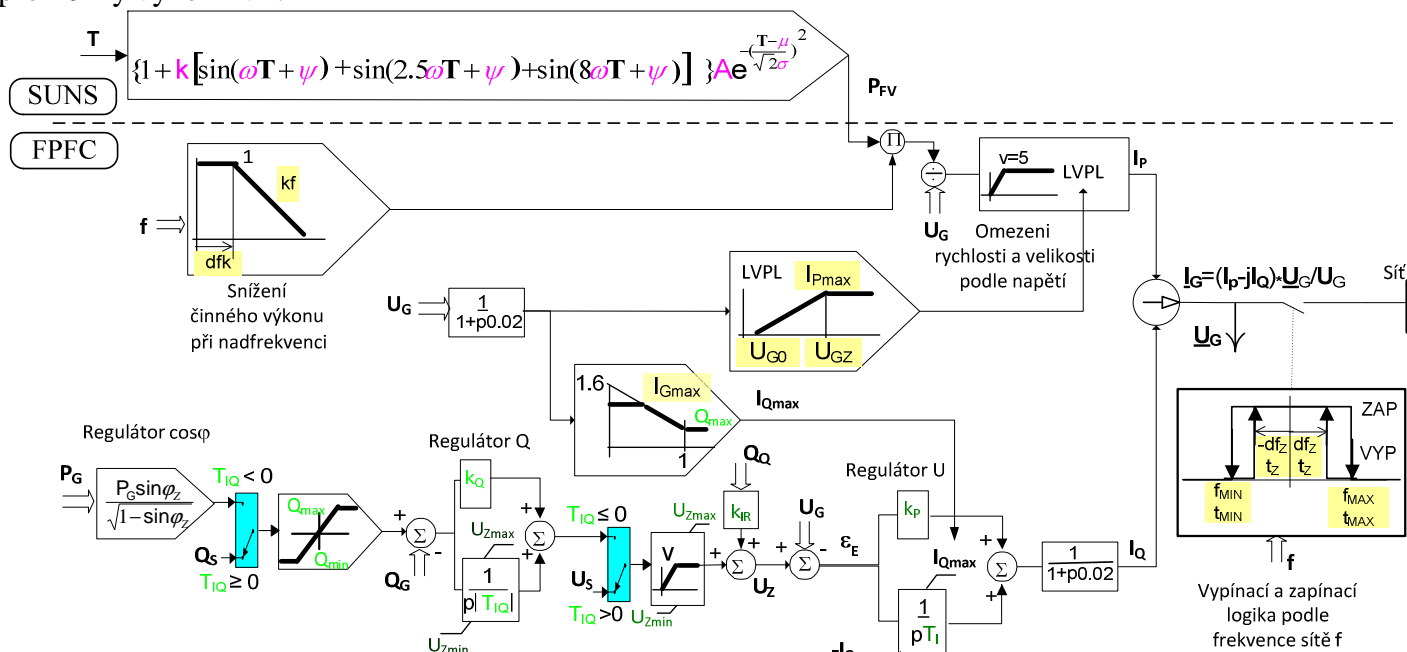
$$|df_M/dt| > df_I \text{ and } \Delta t > T_{dI} \quad \text{pro } N_D \text{ derivačních stupňů (max. 2)}$$

Následující výpis ukazuje data FO v sekci frekvenčních ochran souboru AUTOMAT.DAT:

Poc. Stav	Ochrany	Jmeno Uzlu	Vetve	NN	NP	ND	{fN [Hz]	T [s]}	*NN	{fP [Hz]	T [s]}	*NP	{fD [Hz/s]	T [s]}	*ND	Tvyp [s]
-1	'FO_11'	'DS11'	'T10-101'	0	1	0				49.0	0.1					0.1
-1	'FO_12'	'DS12'	'T10-102'	0	1	0				48.1	0.1					0.1
-0	'AVO_PTI'	'E_TG2'	'S11-12'	0	1	0				47.9	1					0.1
-1	'FO_TG1'	'E_TG1'	'T10-1001'	1	1	0	53	1.0		47.5	0.5					0.1
-1	'FO_TG21'	'E_TG2'	'T11-1101'	1	1	0	53	0.8		47.5	1					0.1

Znaménko mínus u počátečního stavu znamená, že se nevypisuje varování FO do výstupního souboru AKCE.HLA. Ve výpisu je pět FO. Všechny mají definovaný jeden podfrekvenční stupeň a zbylé dvě mají navíc i jeden nadfrekvenční stupeň.

FvE mají definovaný model SUNS, který simuluje proměnlivost intenzity slunečního záření a tím i proměnný výkon FvE.



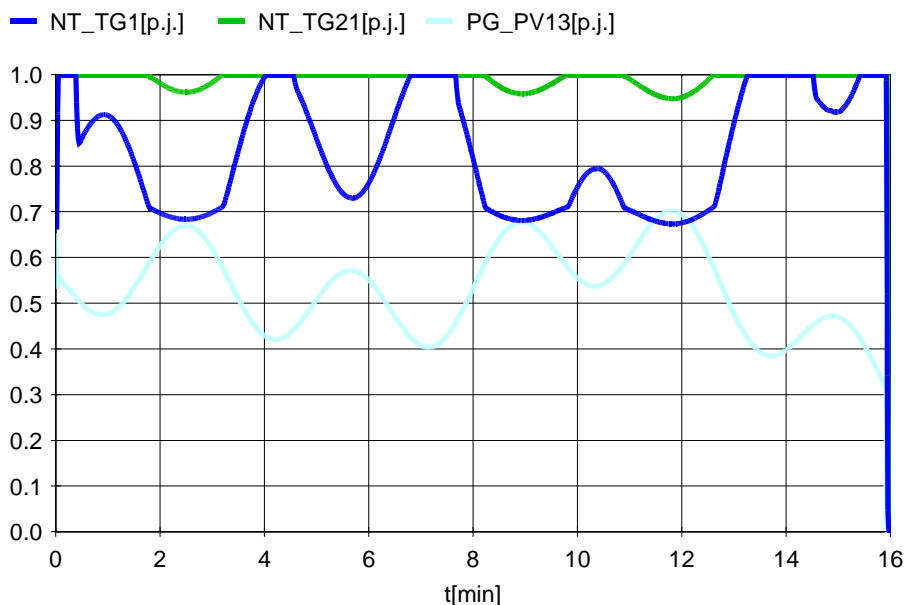
Obr. 6 Blokové schéma modelu FvE

Pro modely jsou zadány následující parametry:

U_n kV	$\cos \phi_n$	S_{na} MVA	f_{MAX} Hz	f_{MIN} Hz	df_z Hz	T_{MAX} s	T_{MIN} s	T_f s	df_k Hz	K_f %/Hz	$Ramp$ %/min	I_{Gmax} -	I_{Pmax} -	U_{G0} -	U_{GZ} -
0.69	0.9	2.775	52	47.5	0.05	2	2	50	0.2	40	50	1.1	1.11	0.4	0.9

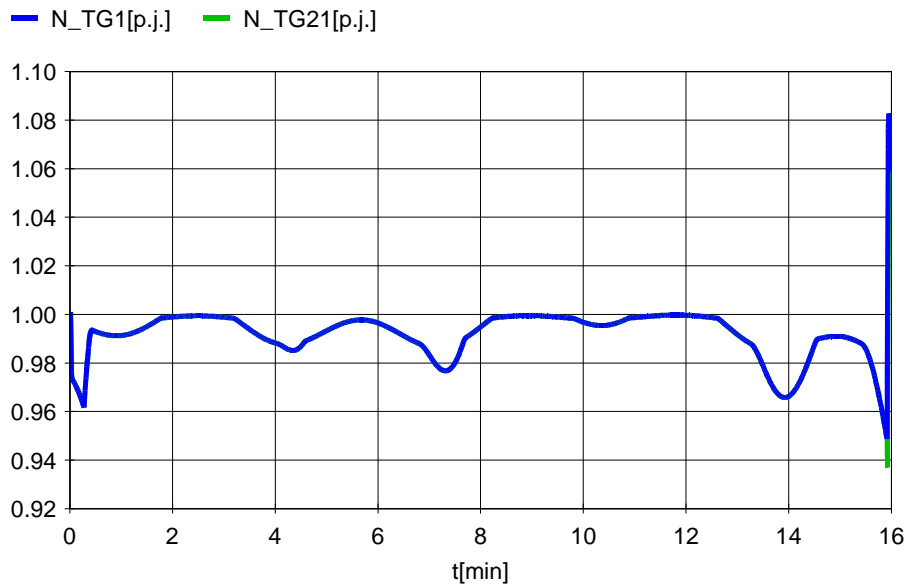
A(-)	$\mu(-)$	$\sigma(-)$	K(-)	$\omega(-)$	Psi(-)
0.501	13.04	3.09	0.2	15.07	20

Iničiační poruchou je výpadek napájení z PS, kdy UO přejde do ostrovního provozu. Vlivem proměnné oblačnosti se po přechodu do ostrova mění výkon FvE PV13, jak ukazuje následující obrázek:



Obr. 7 Časový průběh výkonu FvE a obou klasických bloky v ostrově

Oba bloky TG1 a TG21 se po přechodu do ostrova přepnuly automaticky do regulace otáček (od odchylky frekvence -200 mHz) a regulují frekvenci ostrova, jak je vidět podle průběhů jejich otáček na následujícím obrázku, pod nímž je výpis hlášení programu z výstupního souboru AKCE.HLA.



12:00:01	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:01	T401	VETEV	VYPNUTA	scenarem					
12:00:01	TG1		prepnuo na regulaci otacek	interni	-0.004	-0.004			
12:00:01	TG21		prepnuo na regulaci otacek	interni	-0.004	-0.004			
12:00:01	FO_11	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	48.90	49.00
12:00:02	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:02	T10-101	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_11					
12:00:16	FO_12	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	48.09	48.10
12:00:16	FO_12	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:00:16	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:00:16	T10-102	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_12					
12:15:54	FO_TG1	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	47.45	47.50
12:15:54	FO_TG1	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:15:54	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:15:54	T10-1001	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_TG1					
12:15:55	FO_TG21	H391S1T	Frekvenční ochrana - vypnutí v 1.stupni				3	47.03	47.50
12:15:55	FO_TG21	H391T	Frekvenční ochrana - vypnutí				3		
12:15:55	vypadkem vznikl nový ostrov								
12:15:55	T11-1101	VETEV	VYPNUTA	FP1 FO_TG21					
12:15:56	PV13		podfrekvence - blok vypnut	Ochrano	1	46.919		47.500	
12:15:56	PV21		podfrekvence - blok vypnut	Ochrano	1	46.918		47.500	
12:15:56	DS2		Odlehčení v ostrovu: %,MW blackout vypadkem zdroje			100.000		47.478	
12:15:56	DS1		Odlehčení v ostrovu: %,MW blackout vypadkem zdroje			100.000		128.467	

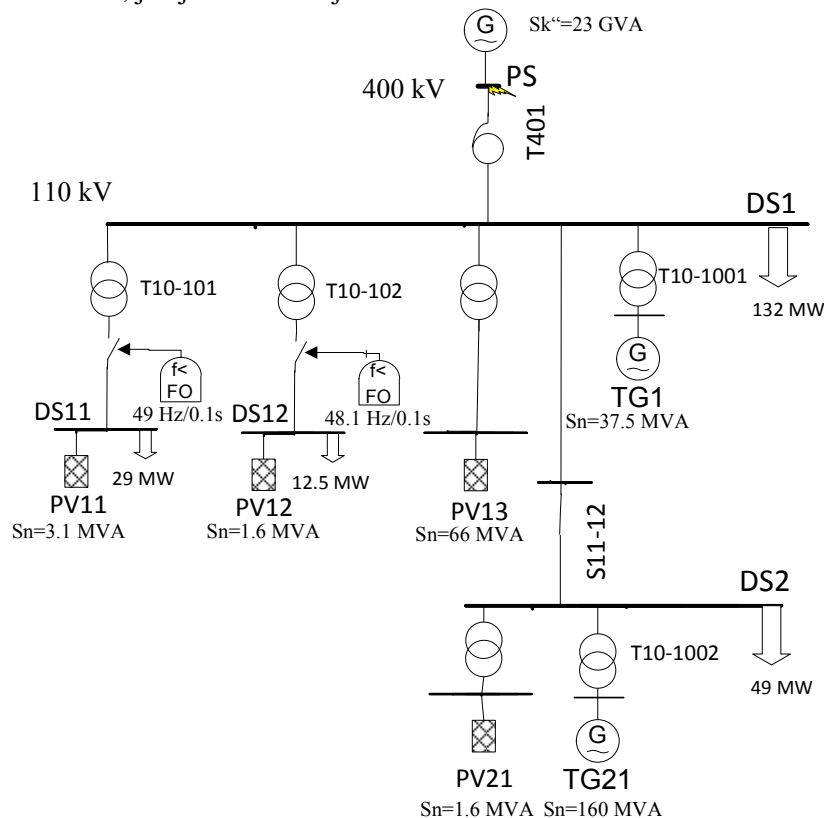
Obr. 8 Časový průběh otáček regulačních bloků

Výpis začíná časem 12:00, tento výchozí čas je definován ve vst. souboru RIZENI.DAT (je nutno zadat, aby byla simulována proměnná výroba FvE podle denního času. Po vzniku deficitního ostrova frekvence klesá a při dosažení hodnoty 49 resp. 48.1 Hz první dvě FO vypínají uzly DS11 a DS12, čímž se zastaví pád frekvence a ta se zotaví na hodnotě blízké k jmenovité. Vlivem proměnné výroby ve FvE se frekvence mění a je udržována změnou výkonu obou regulačních bloků, jak je vidět z Obr. 7. Po patnácté minutě však bloky dosáhnou maximálního výkonu, frekvence klesá dál a po dosažení 47.5 Hz jsou bloky vypnuty na vlastní spotřebu čtvrtou a pátou FO. FvE jsou vypnuty od podfrekvence svou vypínací logikou, která je součástí modelu FPFC (viz Obr. 6).. Jelikož v ostrově už není další zdroj, dojde k úplnému výpadku napájení – blackoutu.

Případ Z_NAPOCH

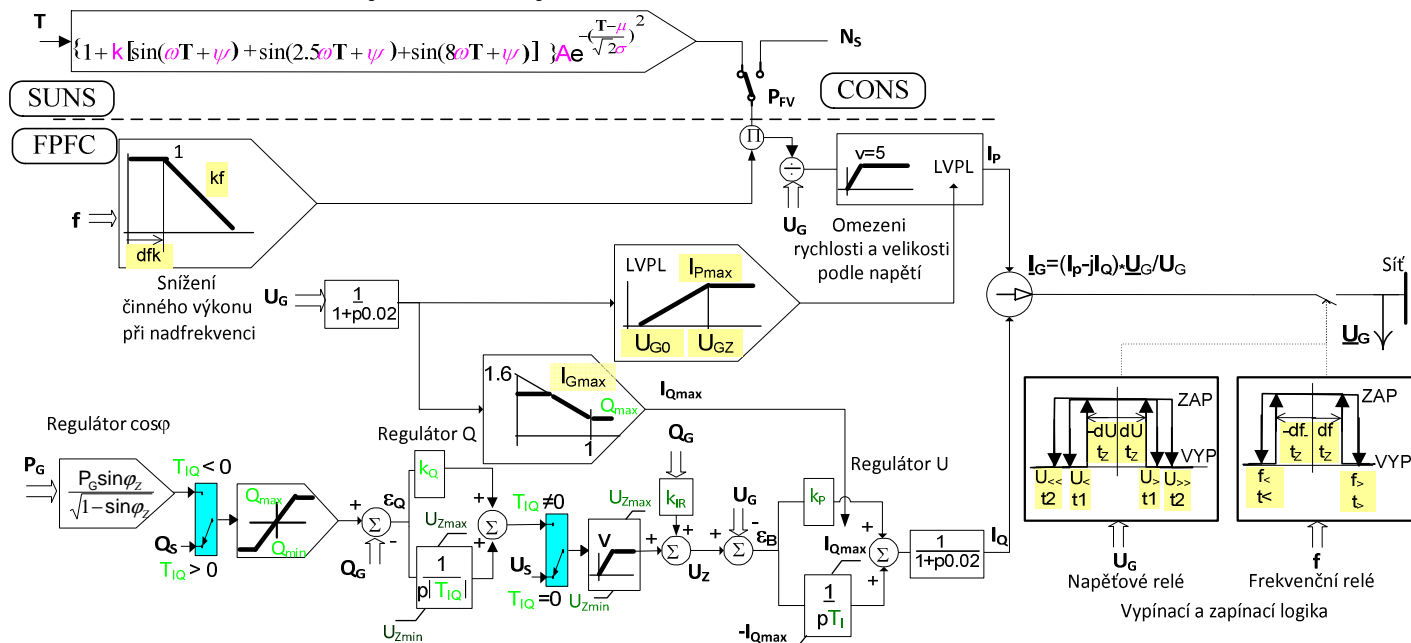
Dočasný zkrat v PS – působení podpěťových ochran FvE

Případ demonstruje činnost podpěťového relé, které vypíná FvE a je součástí jejího modelu FPFC. Pokles napětí je simulován dočasným zkratem v PS, jak je na následujícím obrázku.



Obr. 9 Schéma generického modelu UO

Schéma modelu FvE je na následujícím obrázku.

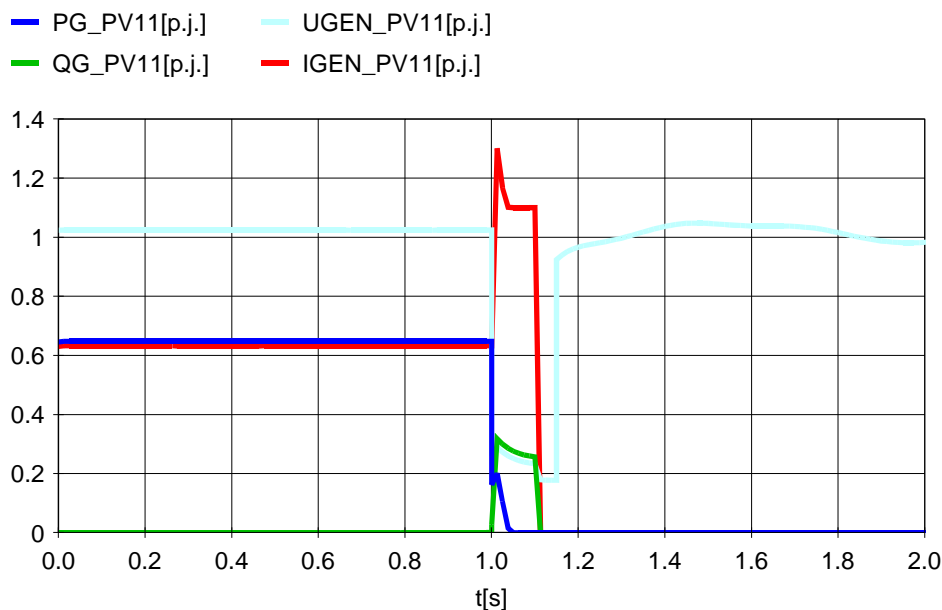


Obr. 10 Blokové schéma modelu FvE

Pokud se přidá dalších sedm parametrů navíc (celkem 25) lze modelovat i napěťové relé (dva stupně pro podpětí, dva stupně pro přepětí a dva symetrické stupně pro napnutí):

$U_{<}$	$U_{<<}$	$U_{>}$	$U_{>>}$	T_1	T_2	dU
				s	s	
0.8	0.7	1.1	1.2	0.5	0.1	0

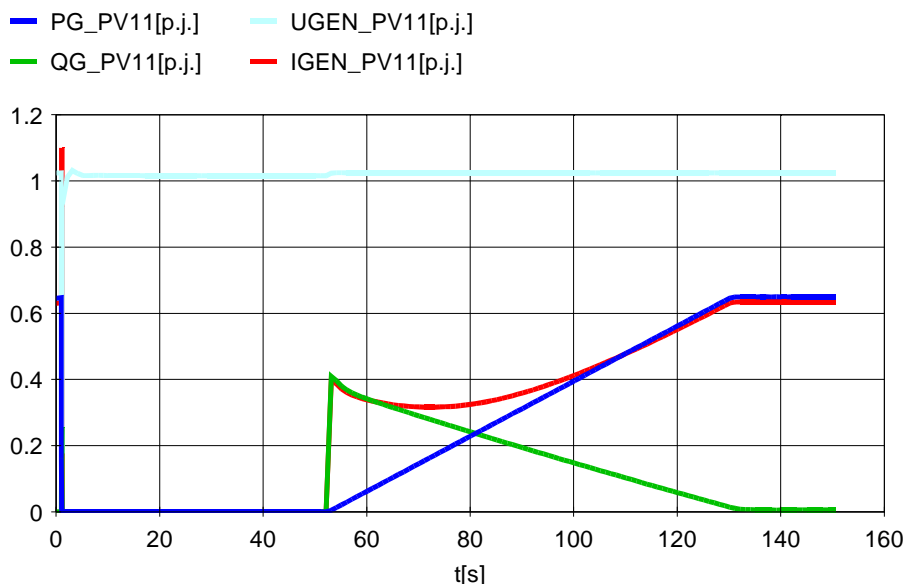
Na grafu je časový průběh veličin jedné FvE. Po zkratu v $t=1s$, klesá napětí. Na to FvE reaguje snížením činného výkonu P vlivem působení tzv. podpět'ové logiky (LVPL). To umožňuje zvýšit dodávku jalového výkonu - zkratový proud je však omezen na maximální hodnotu $I_{Gmax}=1.1$. Jelikož však zkrat trvá déle než je nastavený čas 2. stupně podpět'ové ochrany, tak FvE ochrany vypne.



12:00:01	T401	VETEV	ZKRAT	scenarem		
12:00:01	TG1	prepnuto na regulaci otacek	interni		0.006	0.004
12:00:01	TG21	prepnuto na regulaci otacek	interni		0.005	0.004
12:00:01	PV13	Podpeti - menic vypnut	Ochranou	2	0.340	0.700
12:00:01	PV11	Podpeti - menic vypnut	Ochranou	2	0.233	0.700
12:00:01	PV12	Podpeti - menic vypnut	Ochranou	2	0.220	0.700
12:00:01	PV21	Podpeti - menic vypnut	Ochranou	2	0.261	0.700
12:00:01	T401	VETEV	ODPOJEN POUZE ZKRAT	scenarem		

Obr. 11 Časový průběh proměnných FvE při zkratu

Výpis začíná časem 12:00, tento výchozí čas je definován ve vst. souboru RIZENI.DAT (je nutno zadat, aby byla simulována proměnná výroba FvE podle denního času. Po odeznění zkratu a zotavení napětí FvE po zadané době $Tz=50s$ najíždí FvE trendem 50%/min na původní výkon., jak ukazuje následující graf.



Obr. 12 Časový průběh proměnných FvE po odeznění zkratu

Reference

[1] K. Máslo: Výpočty dynamické stability sítí s OZE, 17. ročník semináře Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2012