

Můj život se SIMULINKem v energetice

Ing. Petr Neuman, CSc.

NEUREG, Praha

neumanp@volny.cz

21. ročník konference

Technical Computing Prague 2013

13. listopadu 2013

Kongresové centrum ČVUT, Praha 6

Úvod

- Příspěvek je určitou rekapitulací autorova 15 letého “energetického” života s programem SIMULINK.
- Tento život začal být prezentován na konferenci MATLAB 1999, kde společně s doc. Šulcem z ČVUT - Fakulta strojní, a Ing. Jarolímkem:
- Inženýrské modely a simulátory regulace uhelného parního kotle.
- Příspěvek zároveň navazuje na konferenci MATLAB v roce 2008, kde autor již tehdy deklaroval svou účast na konferencích MATLAB (později Technical Computing) v “tvůrčích tříletkách”.
- Od roku 2008 uplynula další “tříletka”, byť tentokrát trvala 4, resp. 5 let, protože pravidelný každoroční cyklus byl “přerušen” pořádáním konference v roce 2010 a 2012 v zahraničí, v Bratislavě.
- A účast na zahraniční konferenci je vždy obtížnější a ne vždy realizovatelná.
- -----
- V prezentaci budou ukázány příklady modelů SIMULINK z jednotlivých “tříletek”, zmíněny úspěšné simulace a simulátory,
- a také naznačeny problémy se simulací v rámci řešení **nových energetických výzev 21.století.**

Minulost v „tříletkách“

- Rekapitulace poslední “řídke” tříletky v letech **2008, 2009 a 2011** se dá specifikovat jejím zaměřením na simulaci elektrizačních soustav, a aplikaci speciálních zařízení (ochrany, lokální automatiky a synchrotakty) pro její bezpečný a spolehlivý provoz. V této době byl autor pracovníkem provozovatele české přenosové soustavy - ČEPS, a.s.
- Opakuji v návaznosti na příspěvek v roce 2008, že v **letech 2005, 2006, 2007** byly mnou prezentovány modely SIMULINK elektrického stroje - synchronního generátoru (SG).
- Synchronní generátor byl prezentován v různých souvislostech, např. v dispečerském simulačním trenažéru DTS elektrárenských rozvodů připojených k distribuční soustavě, v DTS přenosové soustavy (PS), a v komplexním tvaru - zahrnujícím i simulaci elektromagnetických přechodových dějů - pro predikci kritických stavů v PS.
- V této době byl autor nejprve v soukromé společnosti NEUREG, a poté pracovníkem firmy ČEPS.

Minulost v „tříletkách“

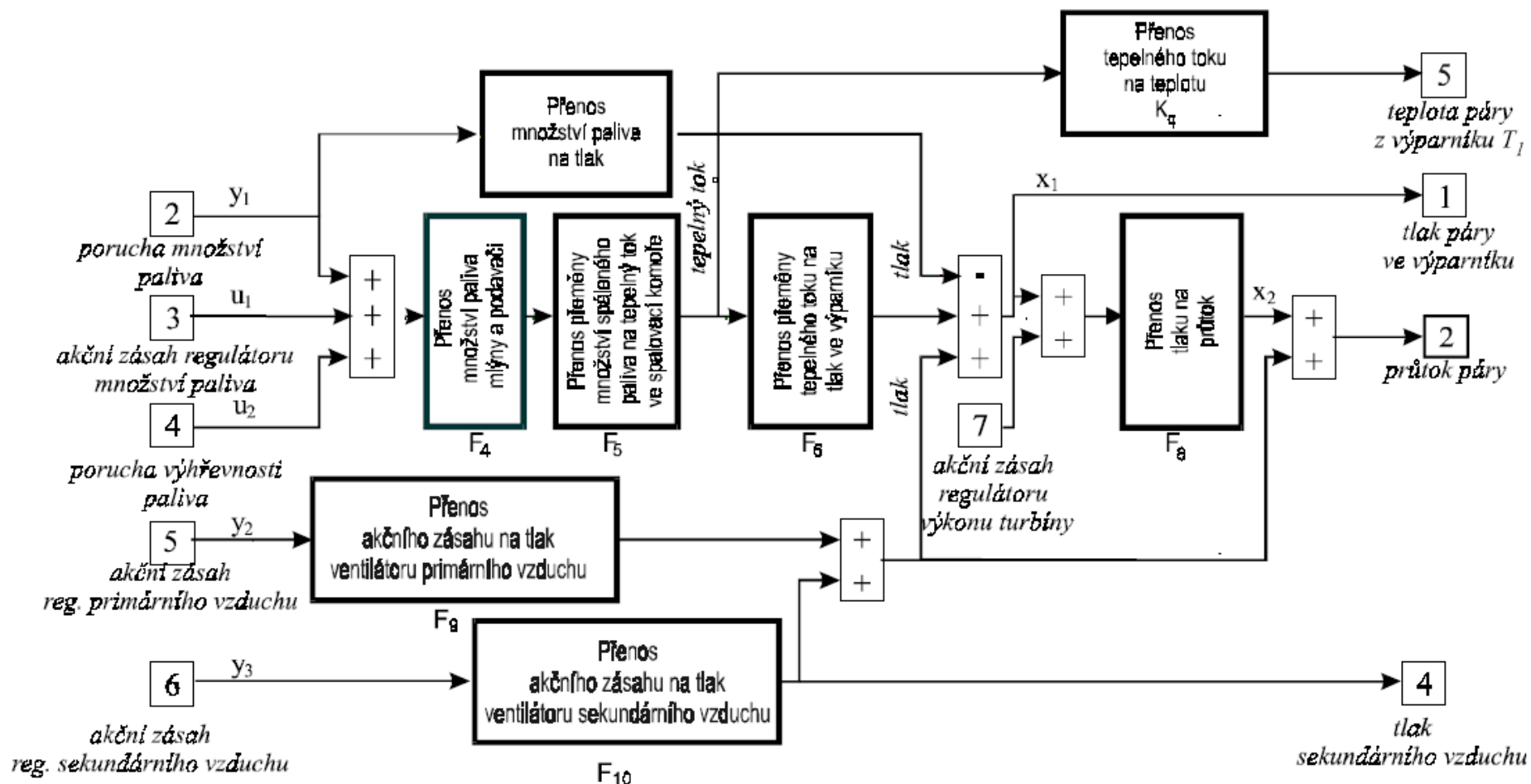
- V letech **2002, 2003, 2004** byly postupně prezentovány různé části operátorského trenažéru OTS v elektrárně Opatovice - EOP. Trenažér OTS zahrnoval simulační modely dvou parních kotlů, propojených přes společnou sběrnici se dvěma parními kondenzačními turbínami.
- V době této tříletky byl autor pracovníkem společnosti Výcvikové středisko energetiky – VSE, Tušimice
- První “tříletka” v letech **1999, 2000 a 2001** byla ve znamení vývoje inženýrských simulátorů parních kotlů, postupně rozšířených o operátorské rozhraní SCADA InTouch. V této době byl autor pracovníkem firmy ŠKODA PRAHA. Tato “tříletka” pro změnu trvala jen 2 roky, protože v roce 2001 okolnosti nedovolily autorovi aktivní účast.

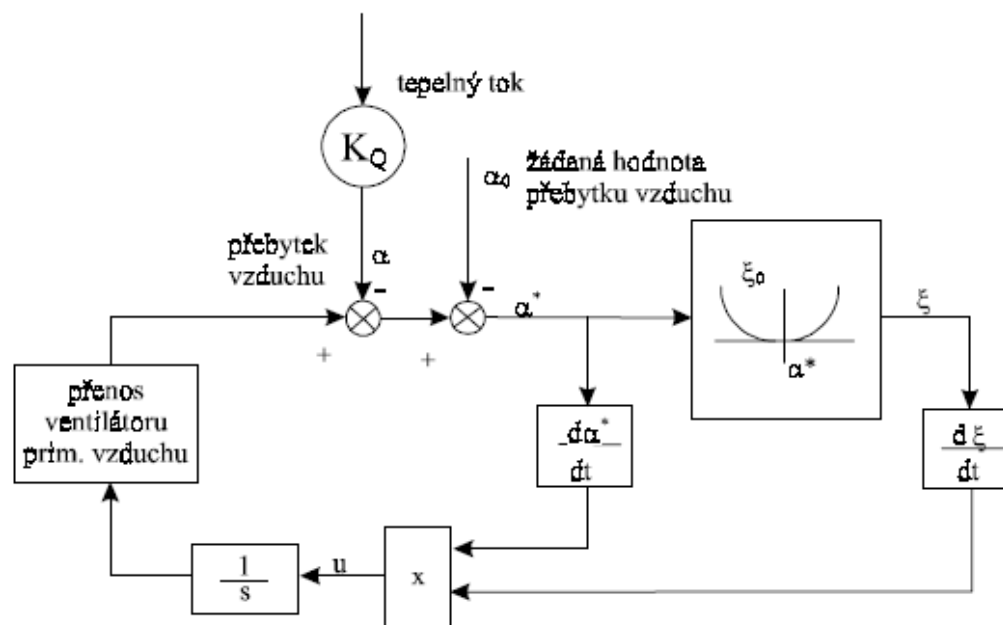
První neúplná „tříletka“ – 1999, 2000, 2001

Téma: Jednoduché lineární modely parních kotlů,
jednoduché operátorské rozhraní MATLAB-SIMULINK.
Školní simulátory.

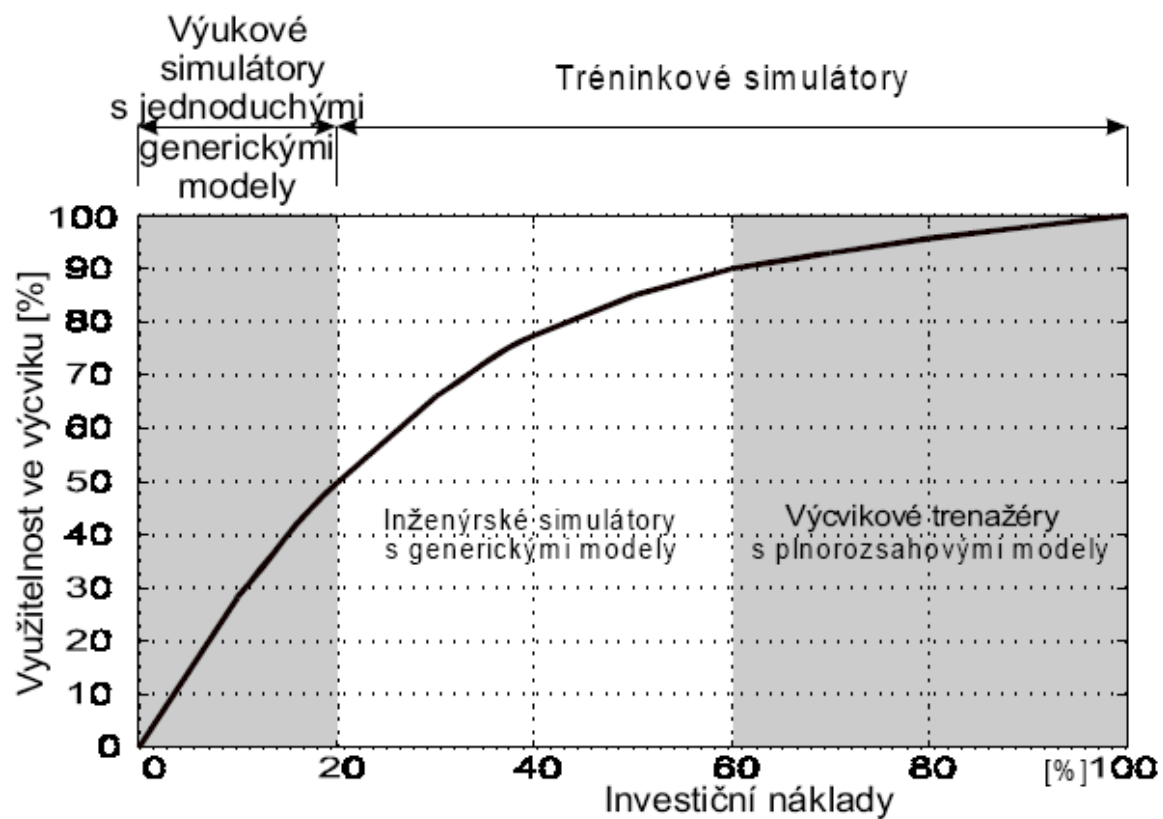
- Inženýrské modely a simulátory regulace uhelného parního kotle.
- Petr NEUMAN - *Bohumil ŠULC – Aleš Jarolímek, 1999*
- Simulátory parních kotlů v programu MATLAB – SIMULINK a možnosti realizace jejich operátorských rozhraní.
- Petr NEUMAN - *Bohumil ŠULC - Javed ALAM JAN - Michal TAUCHMAN , 2000*
- **2001**
- *Zoufalá otázka autora: Co jsem proboha dělal ?*
- *Proč jsem nebyl na konferenci MATLAB ?*

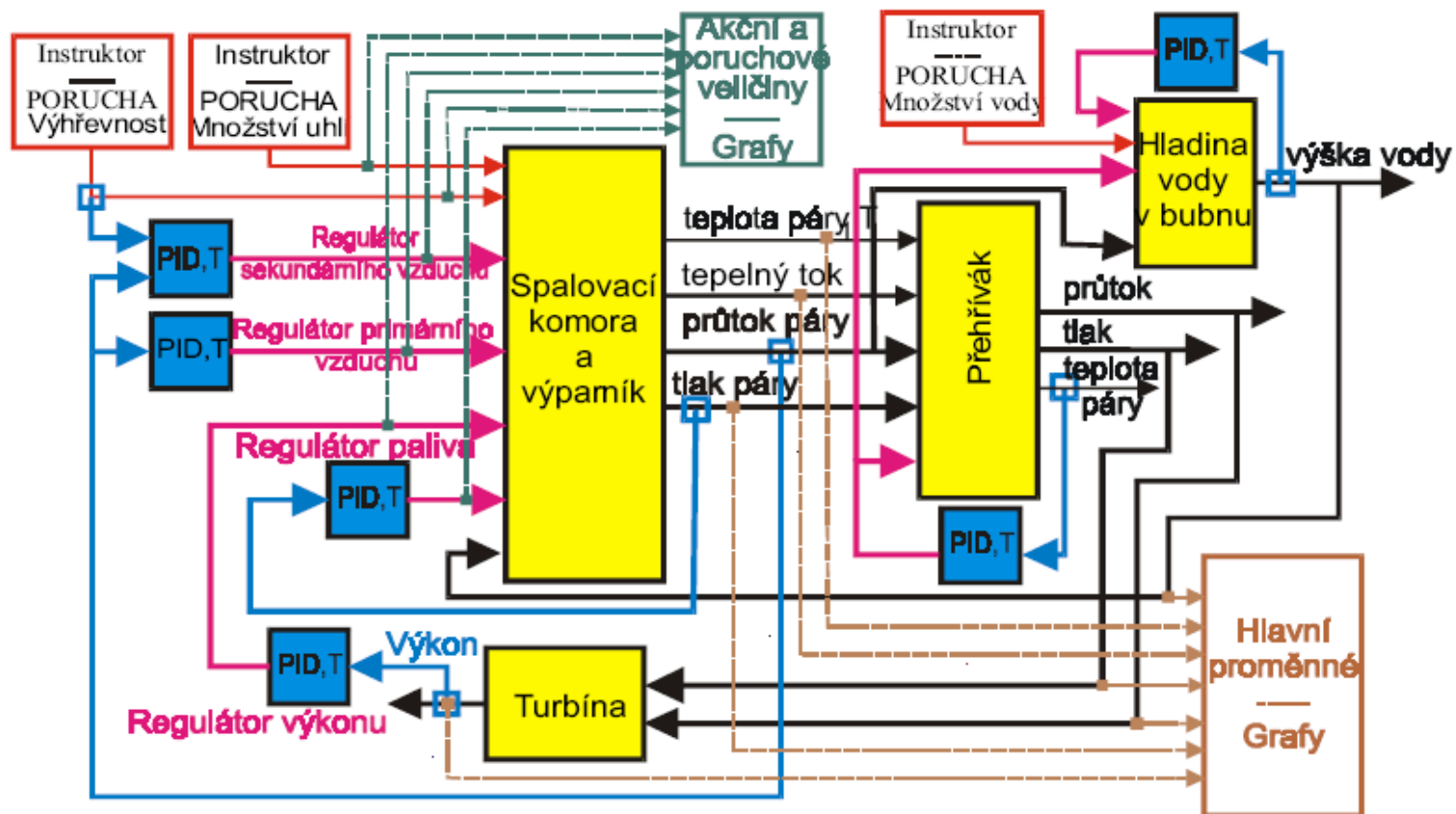
1999



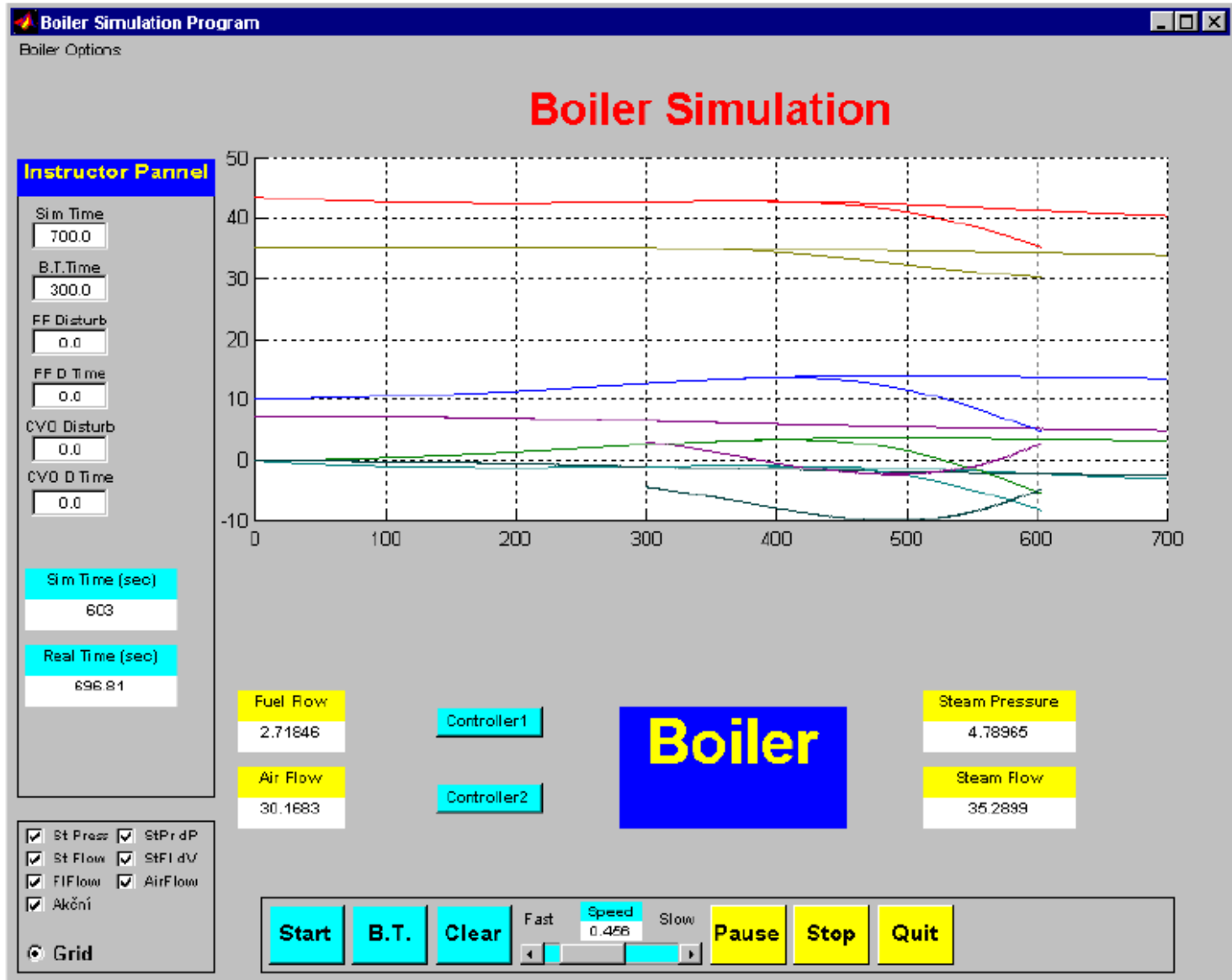


2000





2000

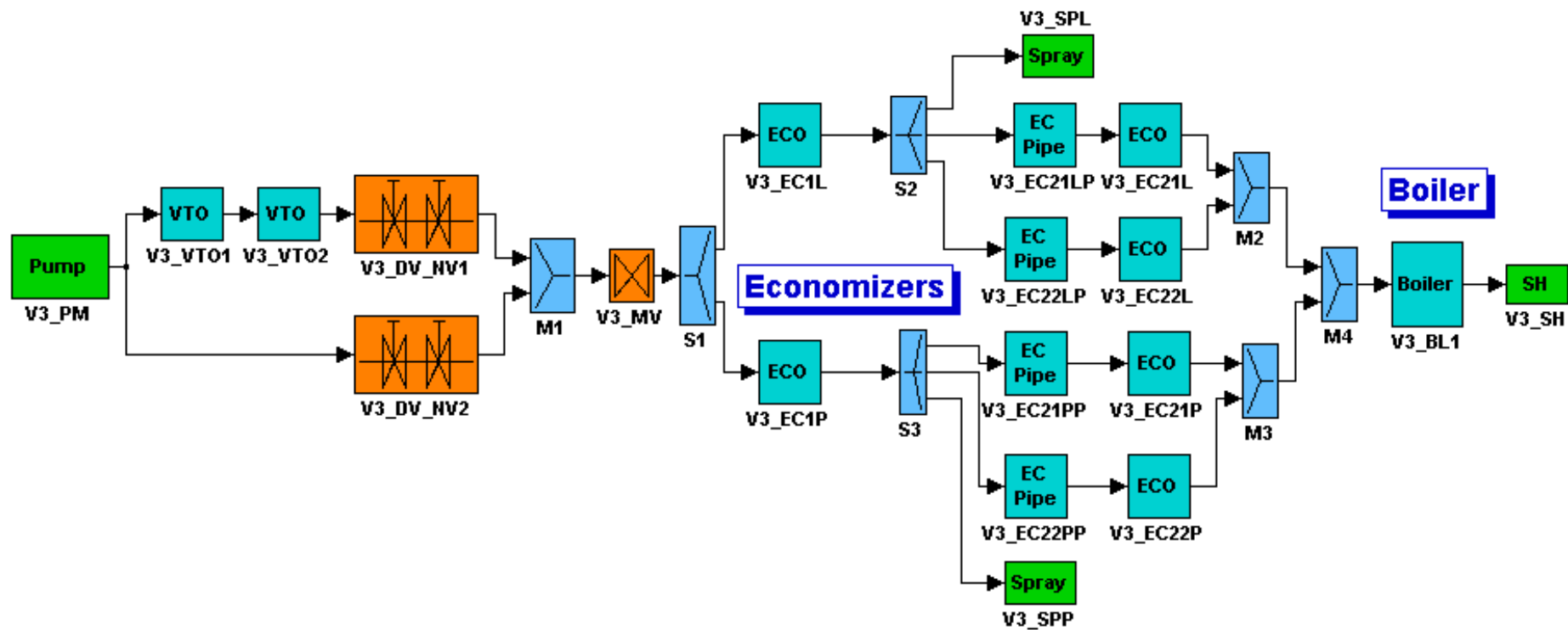


Druhá „tříletka“ – 2002, 2003, 2004

Téma: Nelineární modely uhelných mlýnů, parních kotlů a turbín, operátorské rozhraní SCADA InTouch.

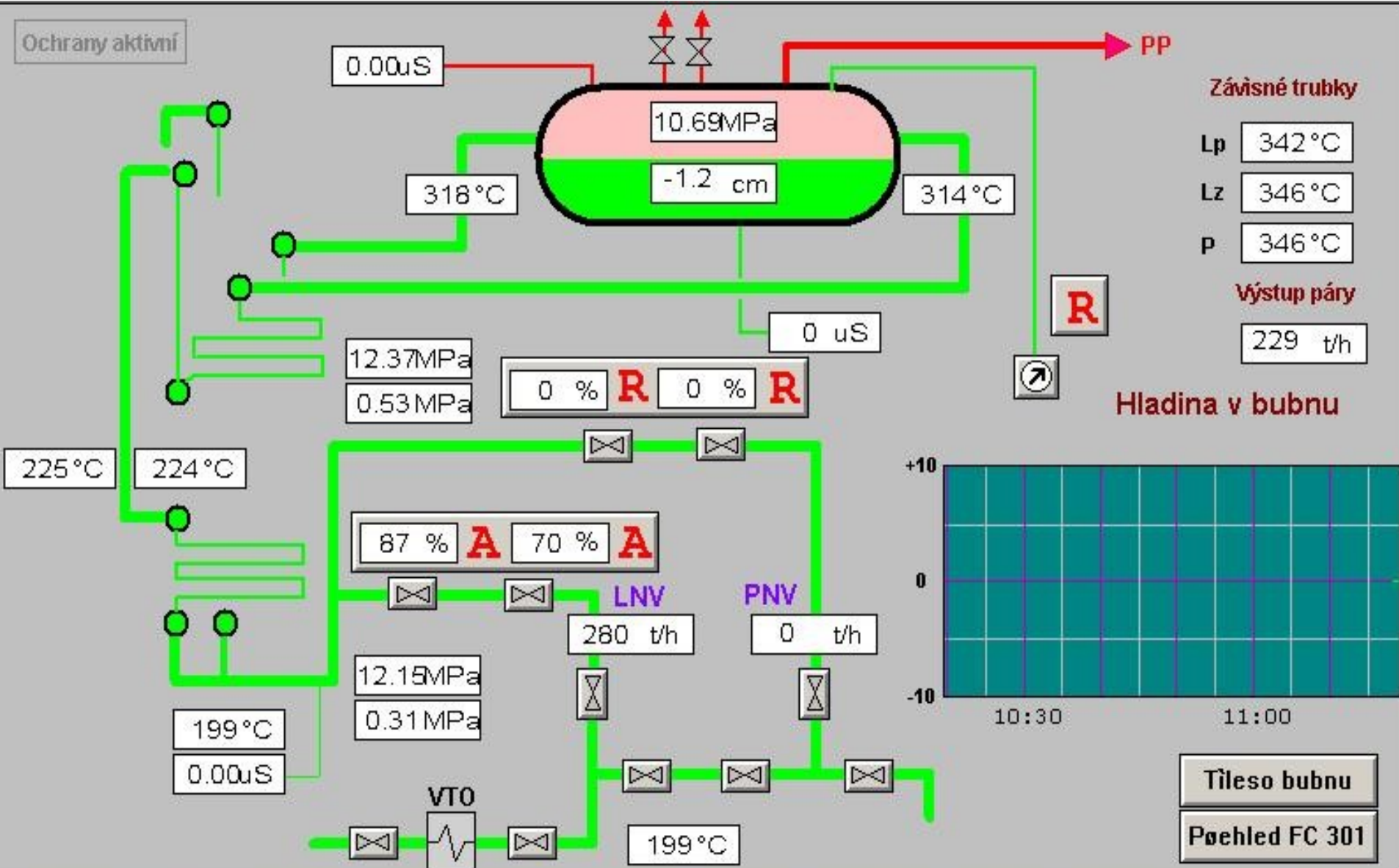
Inženýrské a jednoduché operátorské simulační trenažéry.

- ENGINEERING AND OPERATOR TRAINING SIMULATOR OF COAL-FIRED STEAM BOILER
- *Petr NEUMAN, Marek POKORNÝ, Ludvík VARCOP, Willy WEIGLHOFER, 2002*
- OPERATOR TRAINING SIMULATOR OF COAL-FIRED POWER AND HEATING UNITS
- Petr Neuman, Marek Pokorný, Ludvík Varcop, Willy Weiglhofer, **2003**
- OPERATOR TRAINING SIMULATOR AND ITS SUBMODEL OF COAL-PULVERIZED MILL.
- Petr NEUMAN, Marek POKORNY, Ludvík VARCOP, Willy WEIGLHOFER, **2004**



2002

Ochrany aktivní



Provoz	Napájení	VV	Mlýny	MO 34	MO 33	Vzduch	PP	Trubky	Trendy	Poruchy	Sít'
Emise	Najetí	KV	Pallvo	MO 32	MO 31	C R K	R prlm	R pal	Selekt	Seznam	Graf

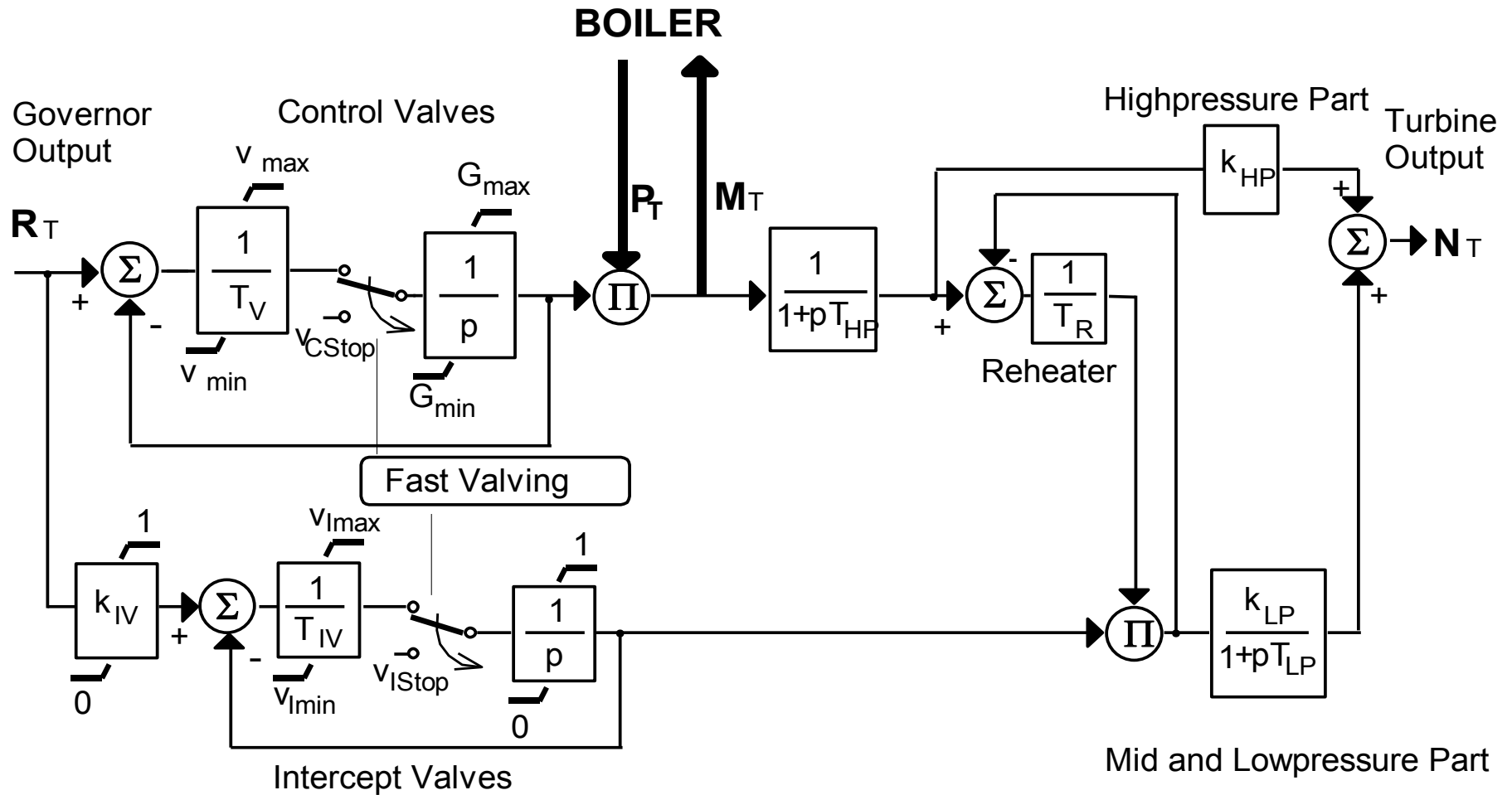


Fig. 4 Block scheme of simple IEEE steam turbine model

2003

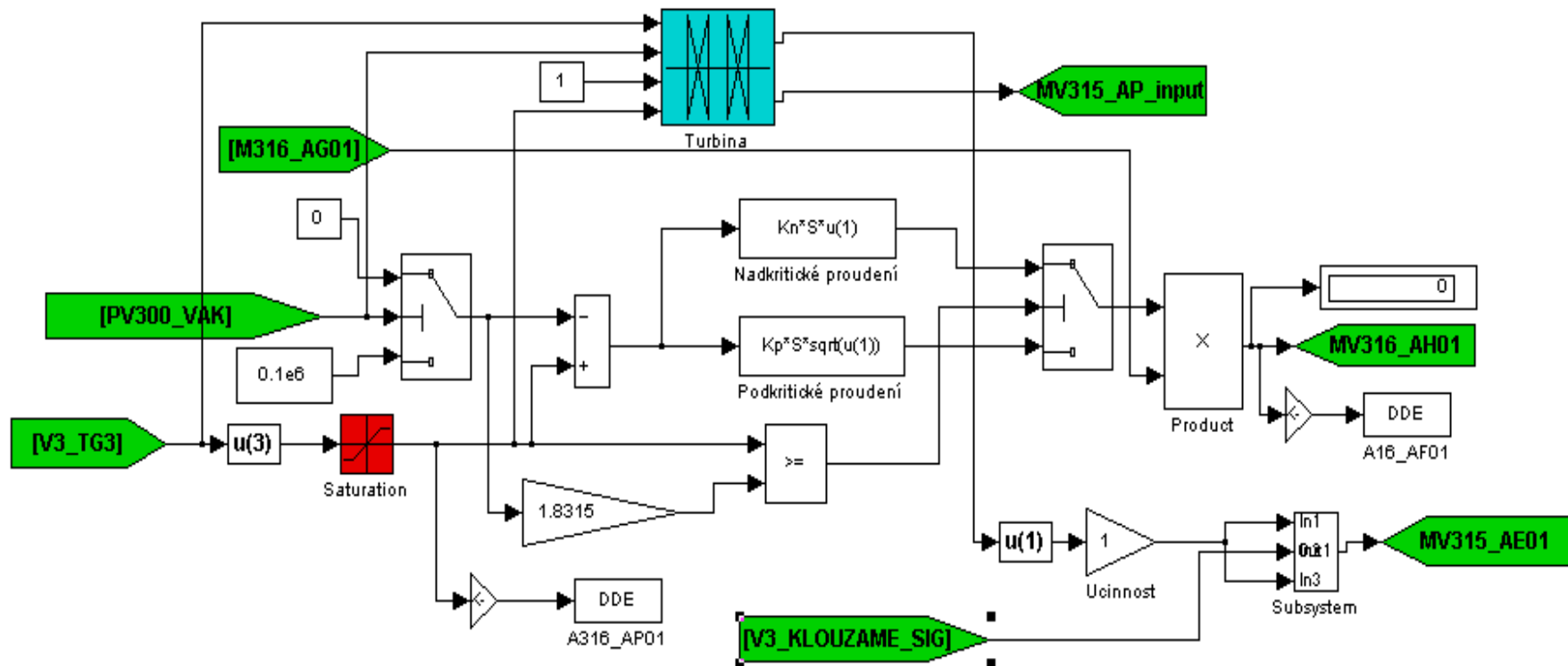


Fig. 5. SIMULINK scheme of detailed steam turbine model - Level I

2003

Heat balance equation has form

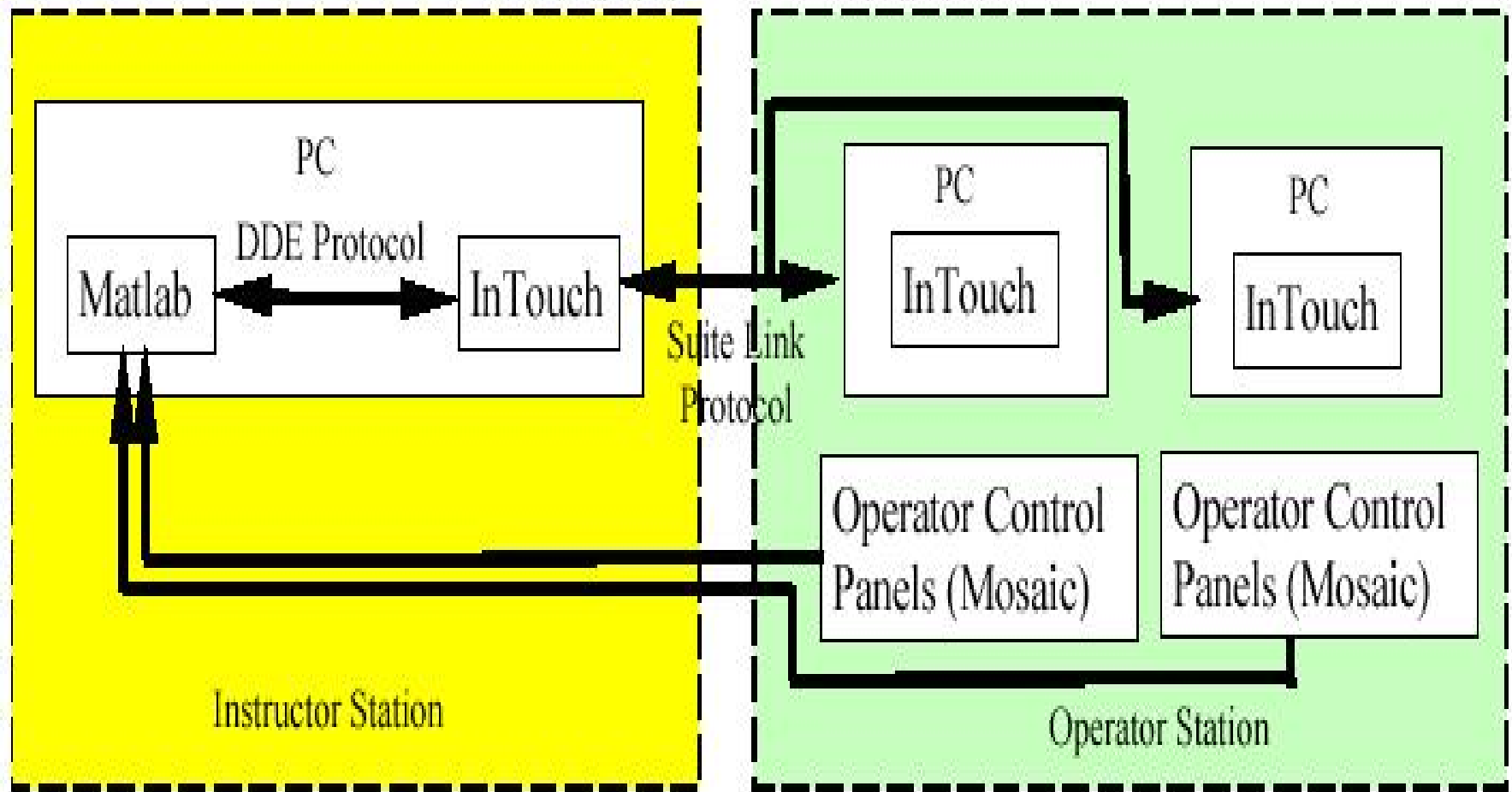
$$V \frac{d}{dt}(\rho_0 h_0) = w_i h_i - w_{ohp} h_0$$

Nozzle equation has form

$$r_{hp} \left(\frac{2}{n} \right) - r_{hp} \left(\frac{m+1}{m} \right) = \frac{w_{ohp}^2}{A_{hp} \rho_0 p_0} \left(\frac{m-1}{2\eta_{\infty hp} m} \right)$$

2004

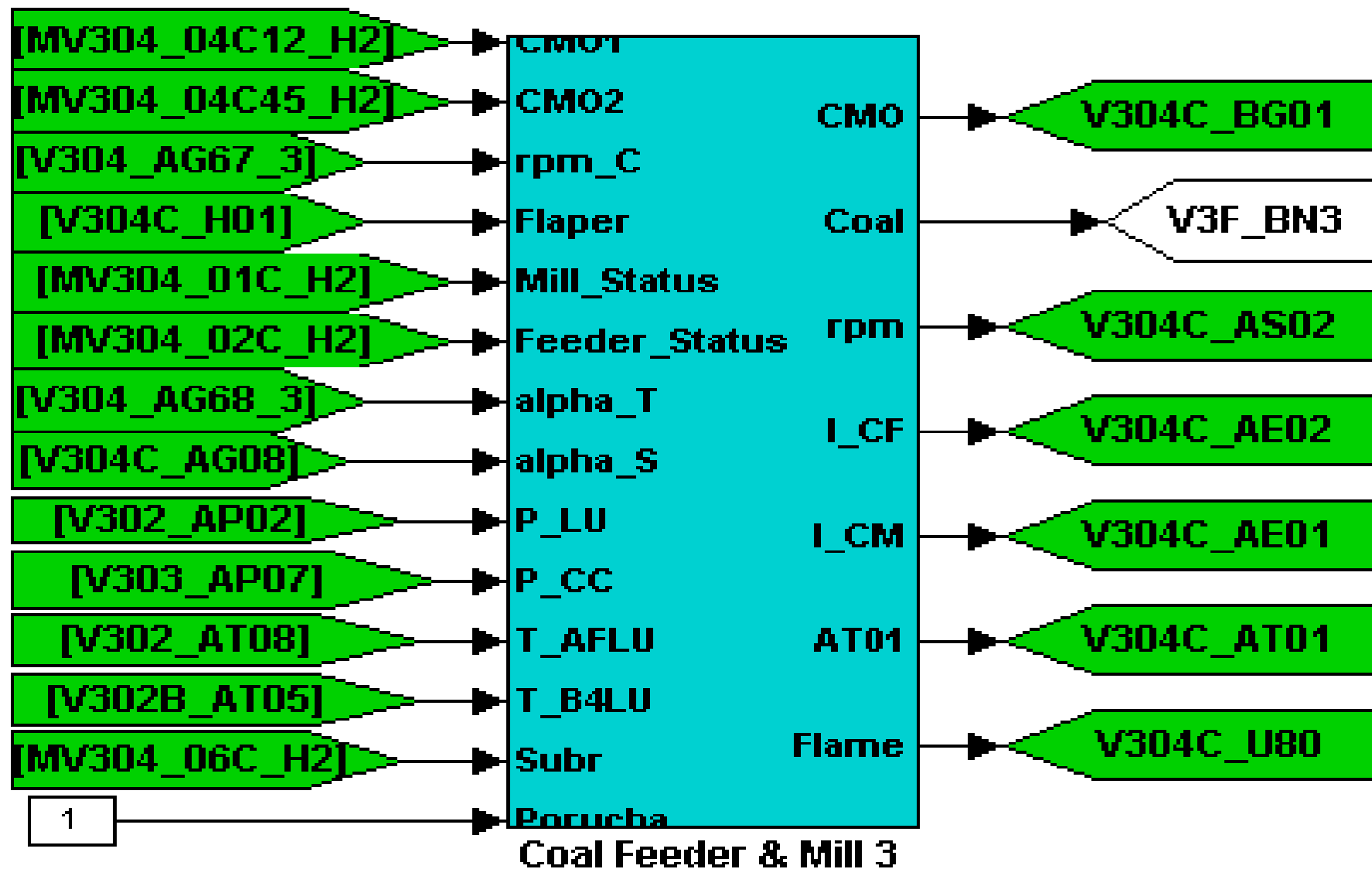
SIMULATOR CONFIGURATION



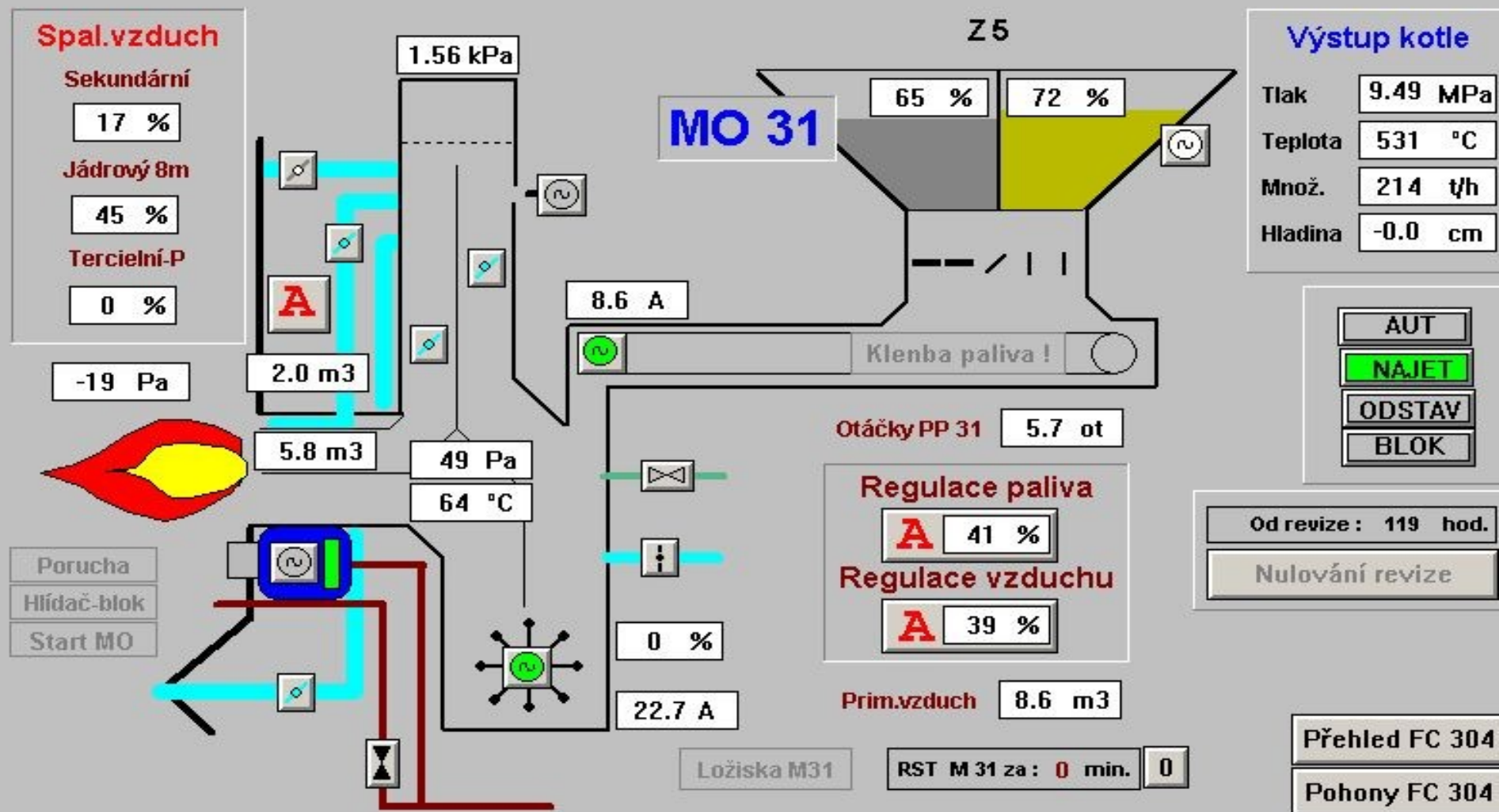
- Layout of Instructor and Operator Stations of Training Simulator

2004

MATLAB-SIMULINK diagram of Coal Mill



2004 InTouch mimics of Coal Mills & Feeder



Provoz	Napájení	VV	Mlýny	MO 34	MO 33	Vzduch	PP	Trubky	Trendy	Poruchy	Sít
Emise	Najetí	KV	Palivo	MO 32	MO 31	C R K	R prim	R pal	NRS 34	Seznam	Graf

Třetí „tříletka“ – 2005, 2006, 2007

Téma: Nelineární modely energetických bloků, elektrických rozvodů a přenosových a distribučních funkcí, operátorské rozhraní SCADA InTouch typu replika

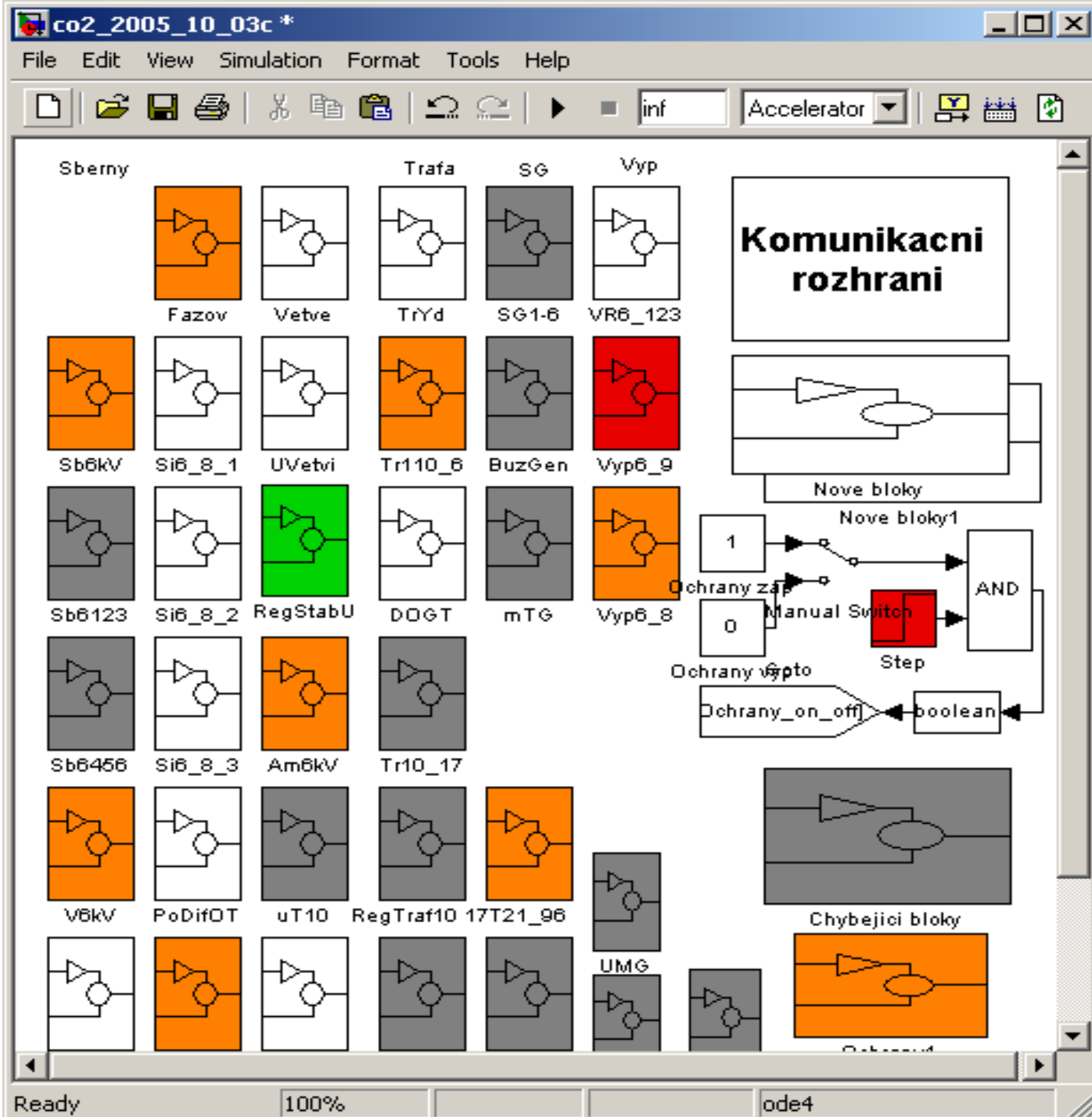
Plnorozsahové Inženýrské (pro kritické stavy ES) a operátorské / dispečerské simulační trenažéry (ES, OTS/DTS), typu replika.

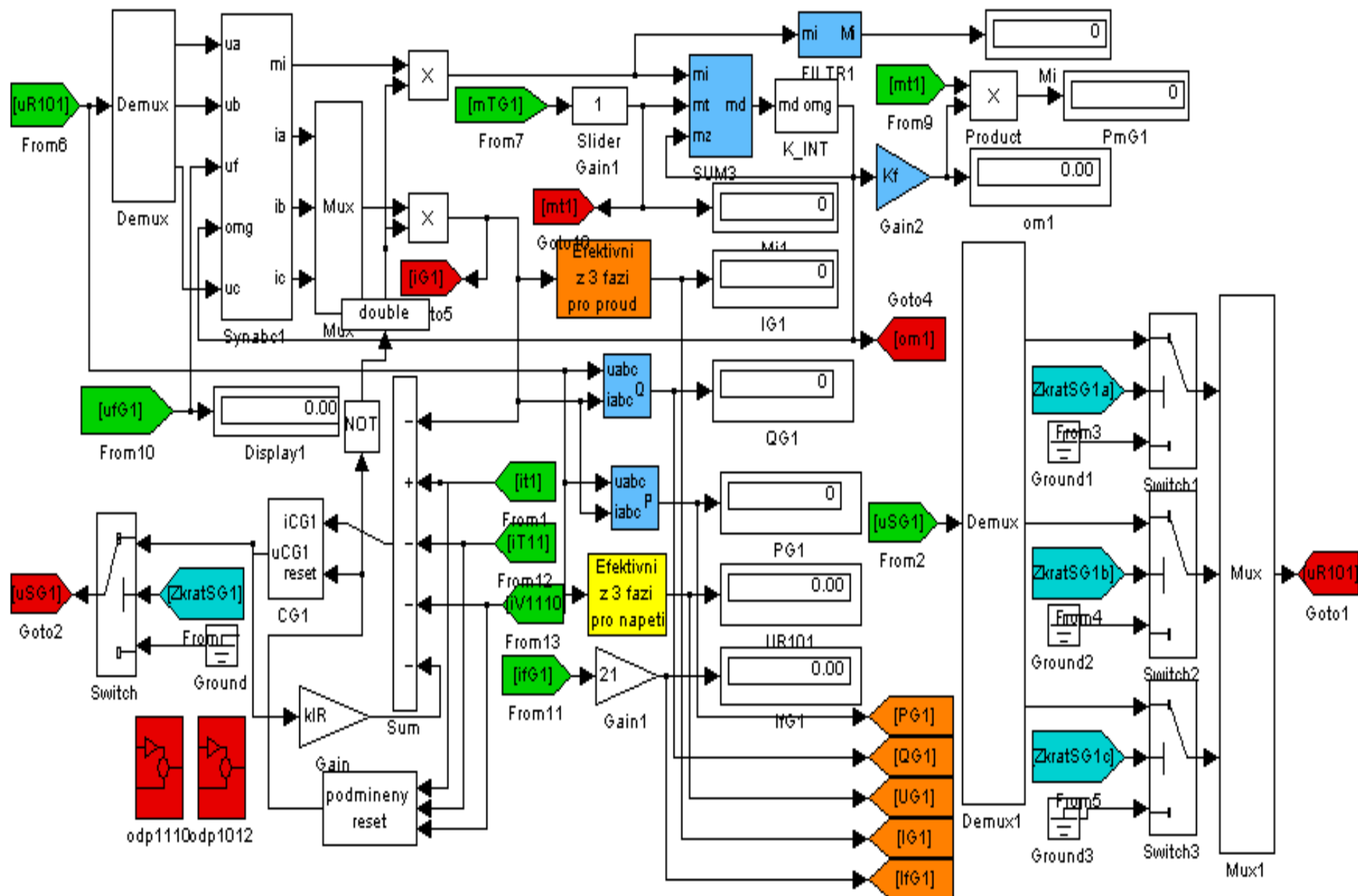
- SIMULAČNÍ TRENAŽÉRY ELEKTRO-ENERGETICKÝCH VÝROBNÍCH BLOKŮ A ROZVODEN
- *Petr NEUMAN, Marek POKORNY, Petr TUŠLA, Ludvík VARCOP, Willy WEIGLHOFER, 2005*

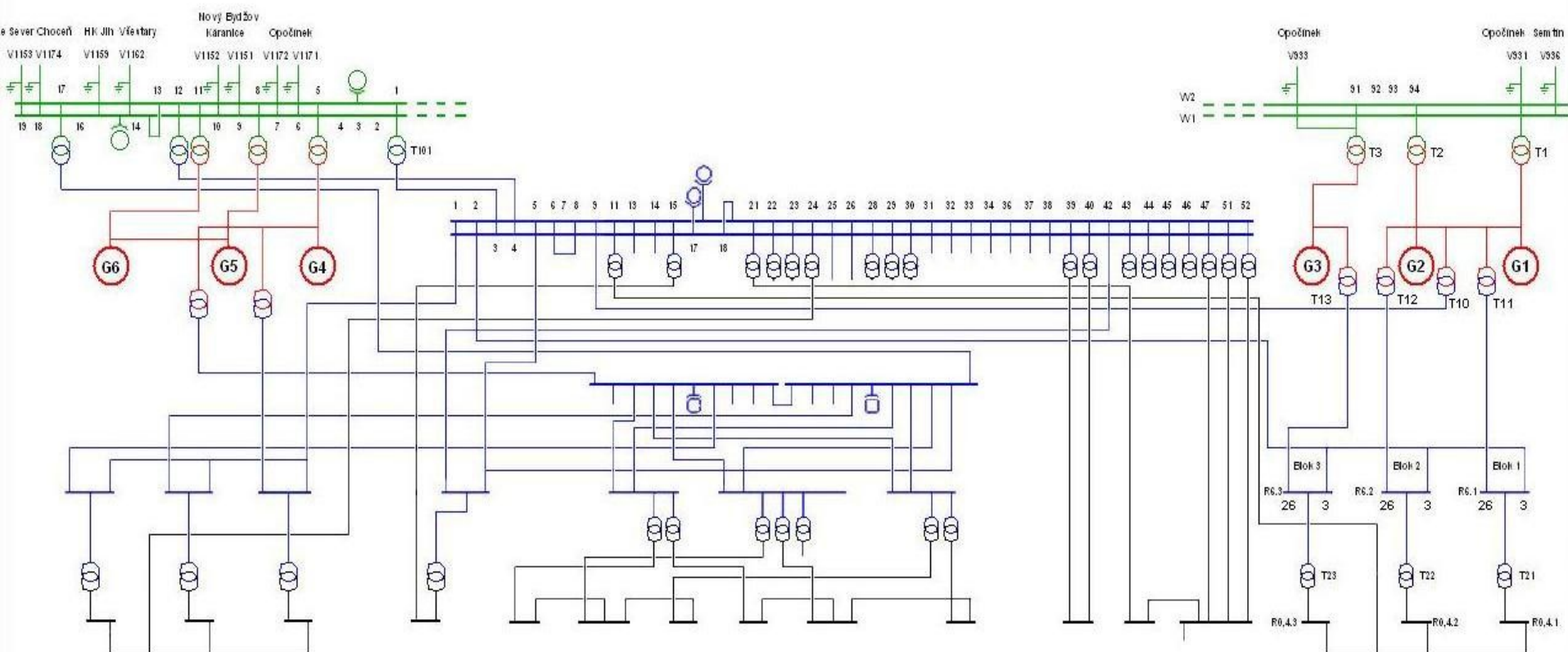
- MOŽNOSTI MODELOVÁNÍ SYNCHRONNÍCH GENERÁTORŮ PRO DISPEČERSKÉ TRENAŽÉRY
- *Petr Neuman, 2006*

- MODELOVÁNÍ PŘECHODOVÝCH ELEKTROMAGNETICKÝCH DĚJŮ V ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ PRO ÚČELY SIMULACE KRITICKÝCH STAVŮ
- Petr Neuman, 2007

2005





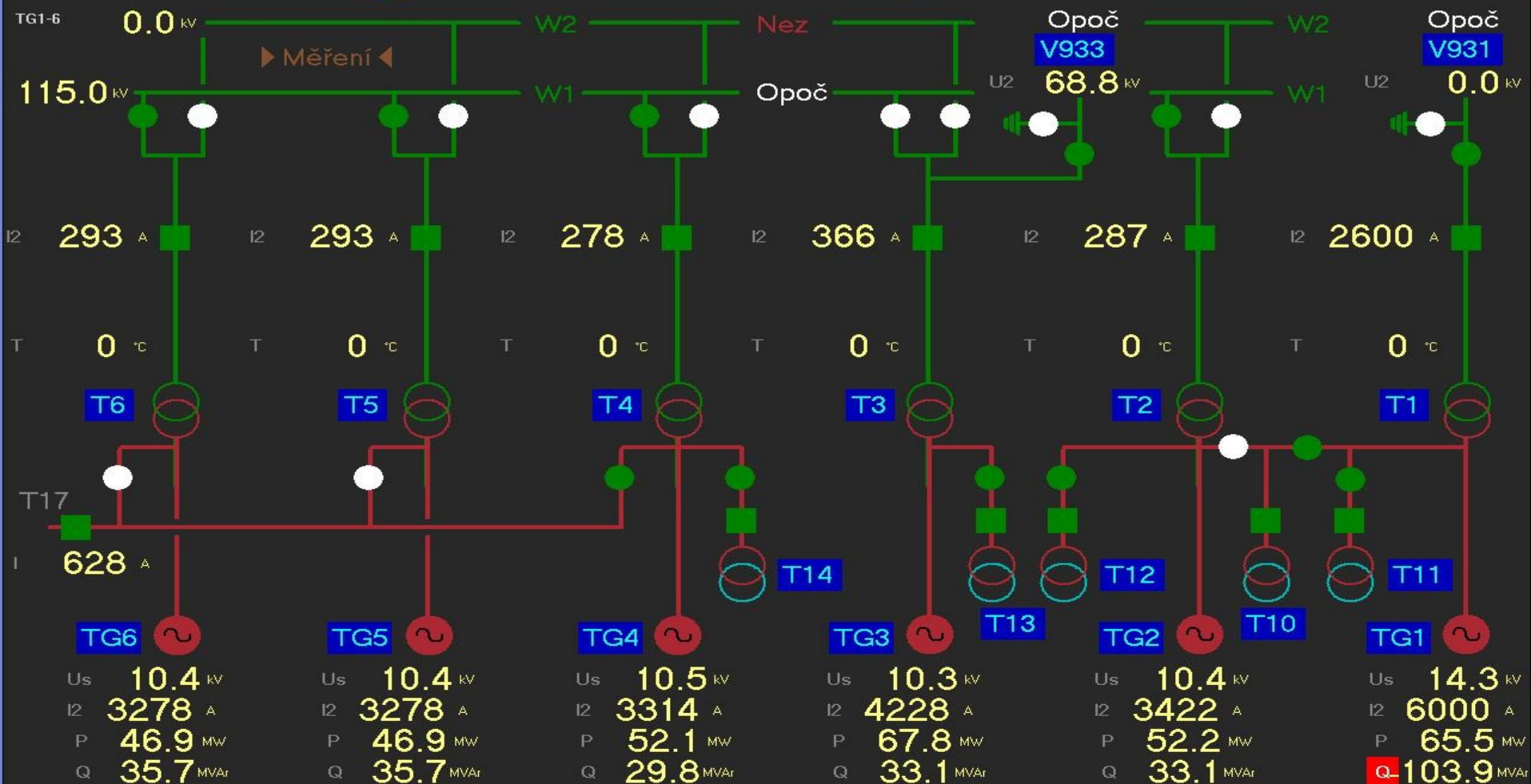


2006 Snímek TG₁₋₆ generátorů v InTouch

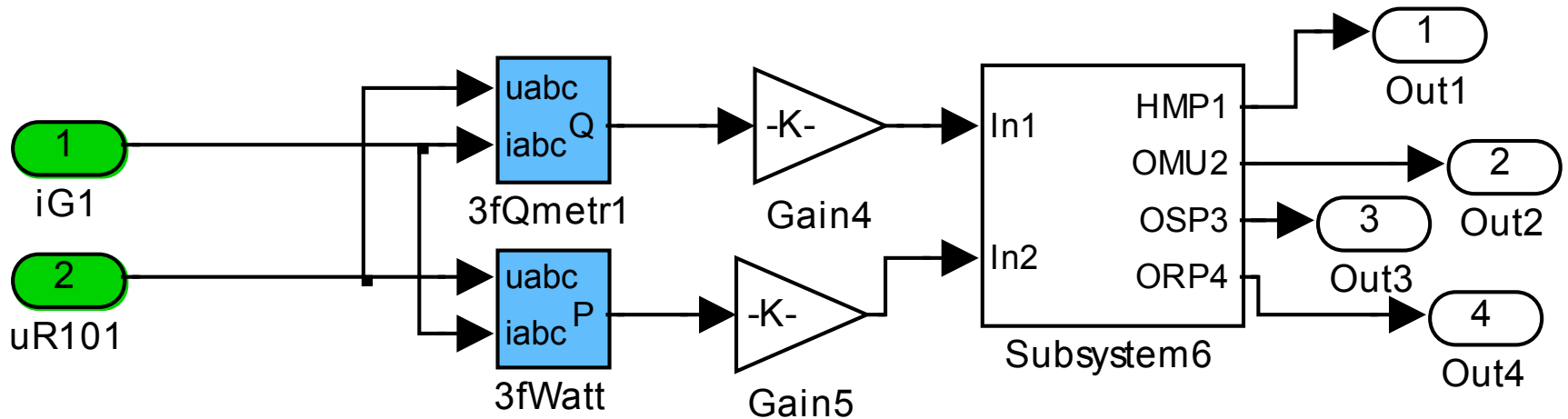
23 X	13:31:16	299	R6_3_U	6.2265	6.4	Napeti na R6.3
23 X	13:31:11	299	R6_3_U	6.53091	6.4	Napeti na R6.3
23 X	13:31:09	299	R6_3_U	6.1839	6.4	Napeti na R6.3
23 X	13:31:07	299	R6_6_U	6.18741	6.4	Napeti na R6.6
23 X	13:31:06	299	R6_6_U	6.4061	6.4	Napeti na R6.6

13:28:14

23.10.2005



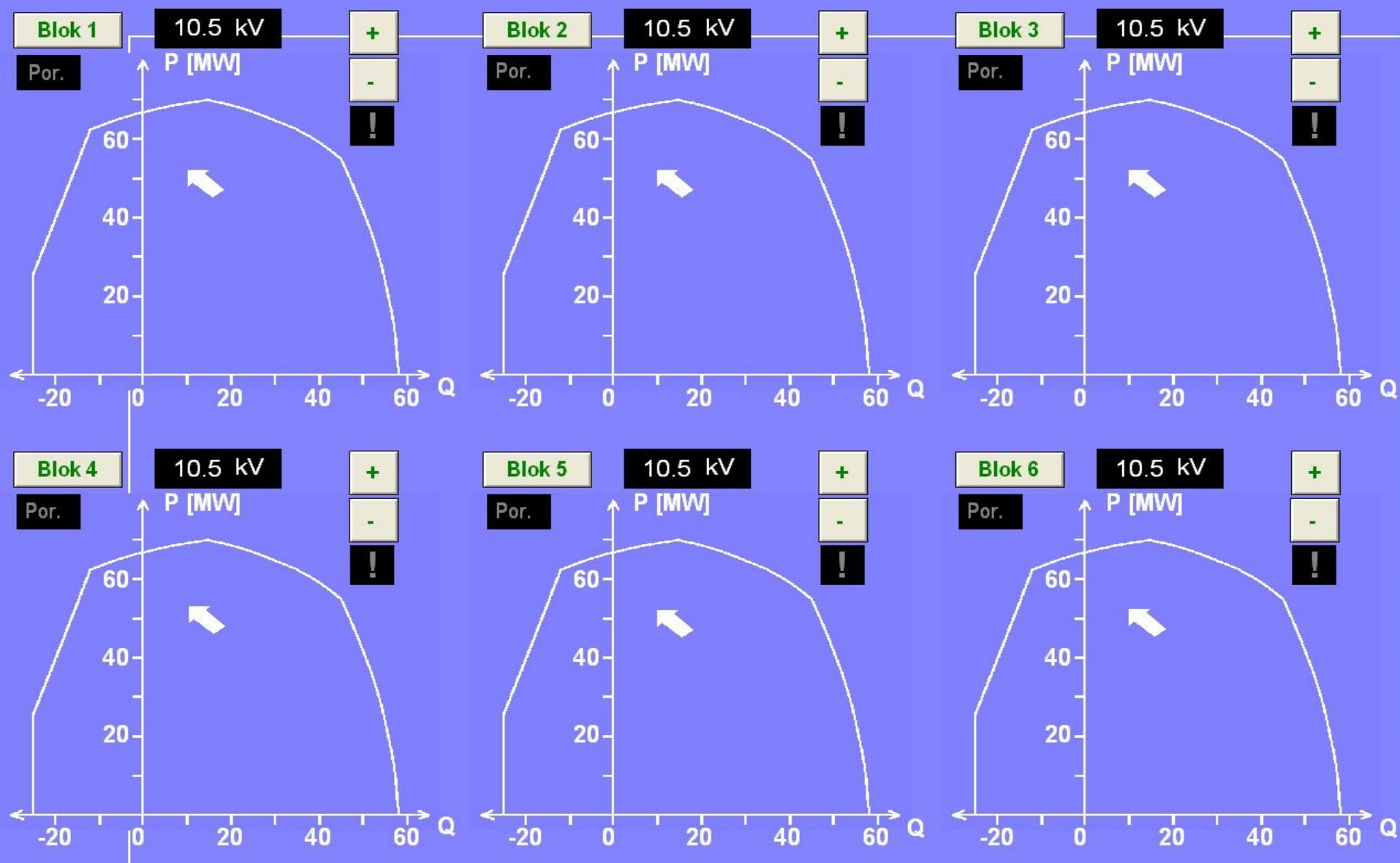
G1	G2	G3	G4	G5	G6	T10	T11	T12	T13	T14	R6-5	R6-6	T17	T101	T102	T103	Trendy Alarmy
1153	1174	1159	1162	Spoj.	1152	1151	1172	1171	936	TG1-6	R61-6	Tepl.	Reg. ZAP	R110	R110/1	2	Seznam



indikační výstupy:

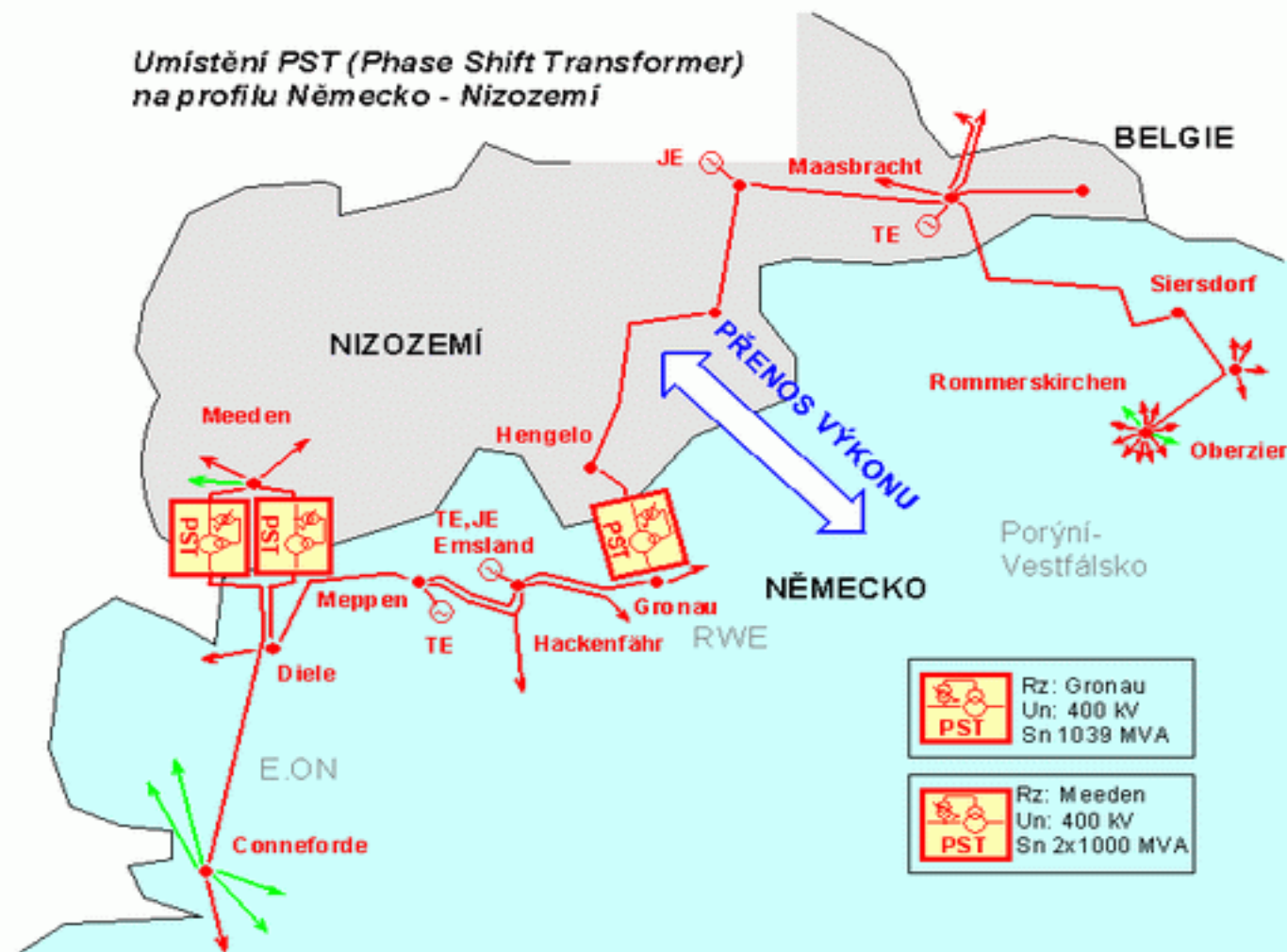
HMP (horní mez činného výkonu),
 OMU (mez podbuzení),
 OSP (omezovač statorového proudu),
 ORP (omezovač rotorového proudu).

P-Q



2007

Využití transformátorů s příčnou regulací v Evropě

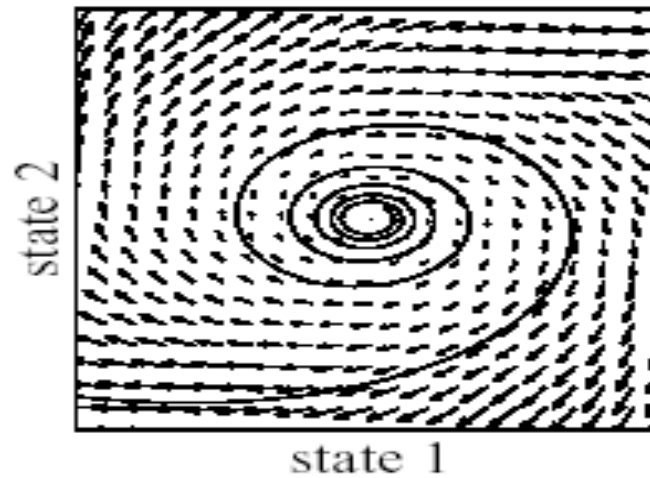


- Navýšení přenosové kapacity ve směru na Německo o cca 1100 MW
- Udržování konstantních toků výkonů po profilech

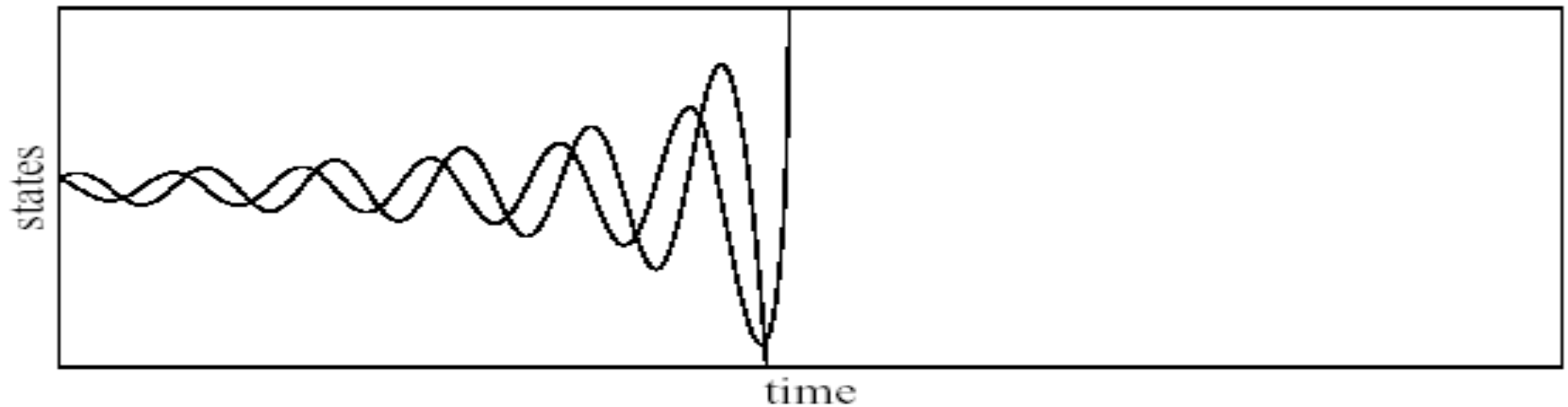
2007

PŘ: subkritická H_+ bifurkace, nestabilní rovnovážný stav

(a) STATE SPACE

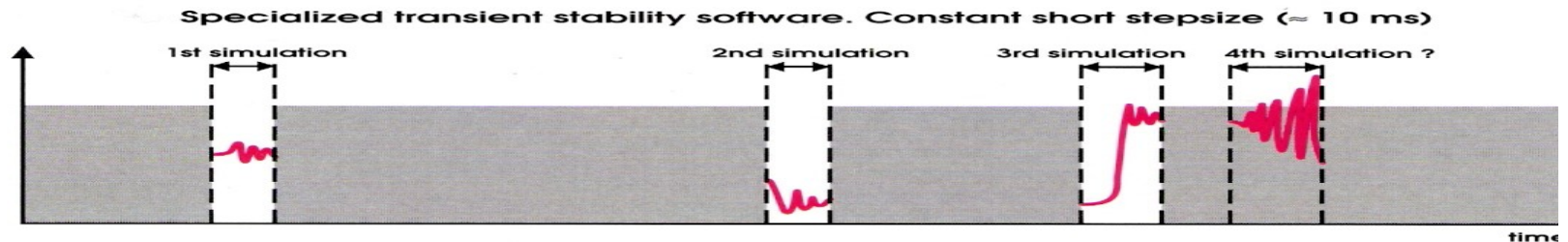
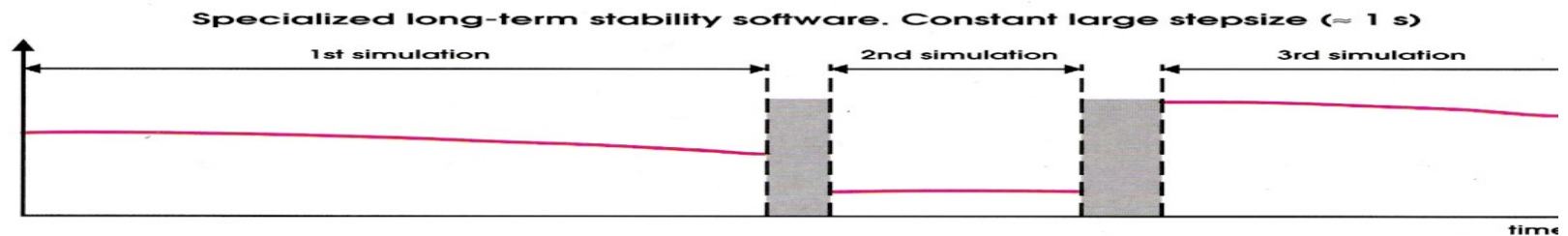
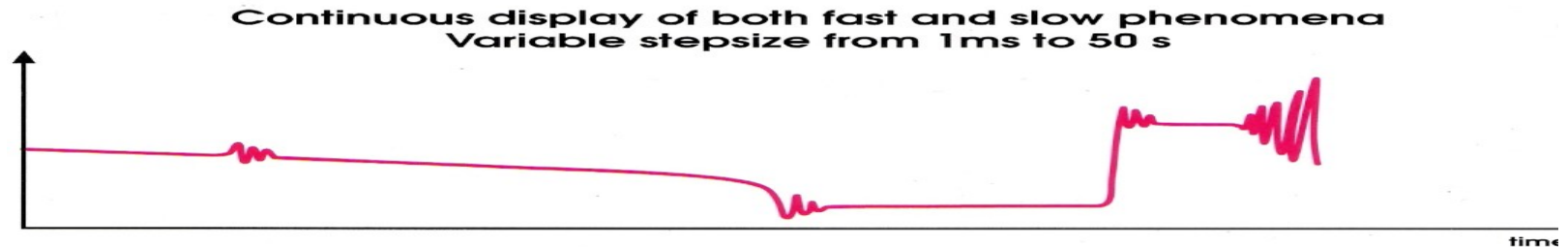


(b) TIME HISTORY



2007

Software for the Simulation of Power System Dynamics



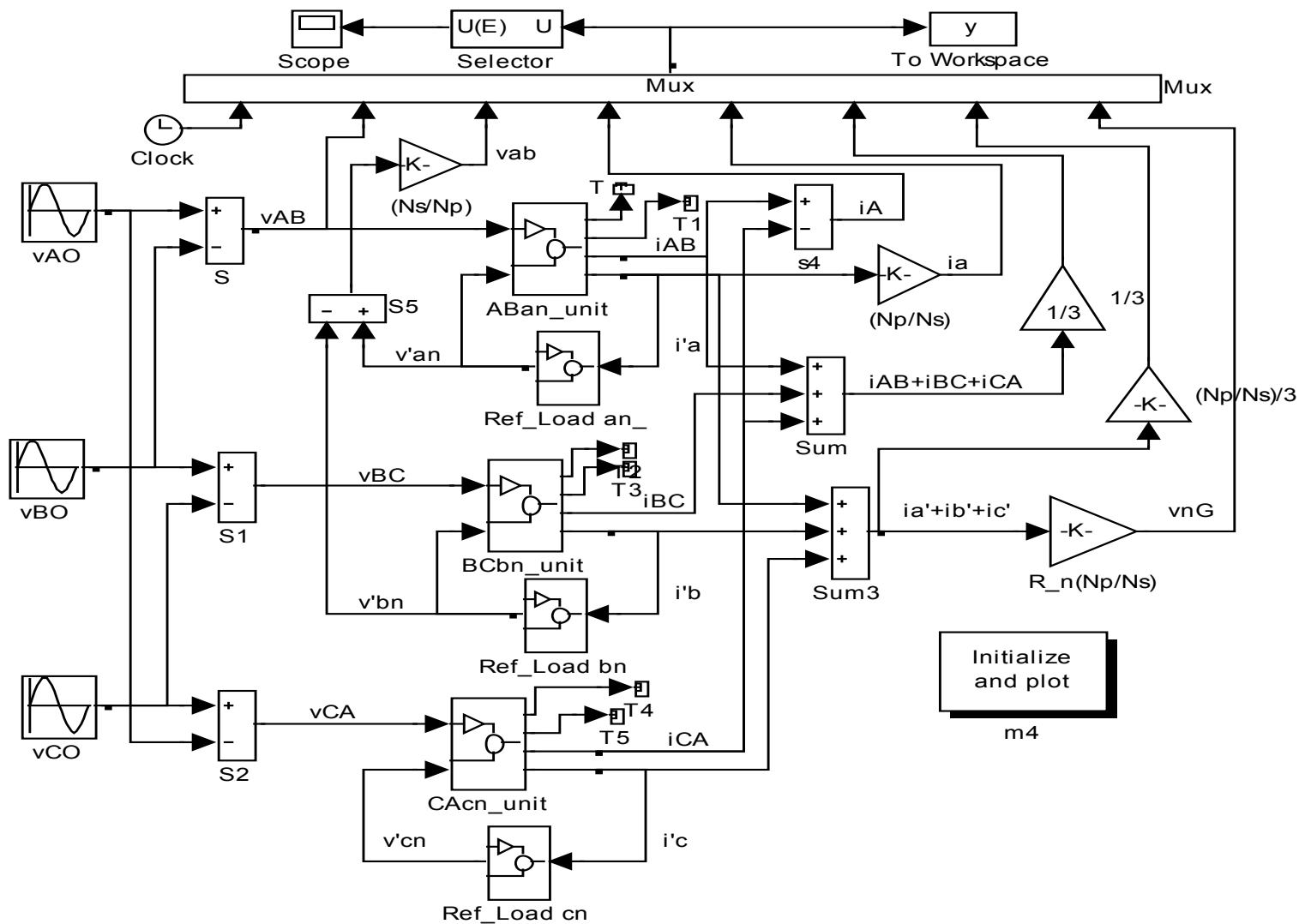
**CONTINUOUS DISPLAY OF BOTH
FAST AND SLOW PHENOMENA**

Dynamic Stability • Transient Stability • Long-term Stability

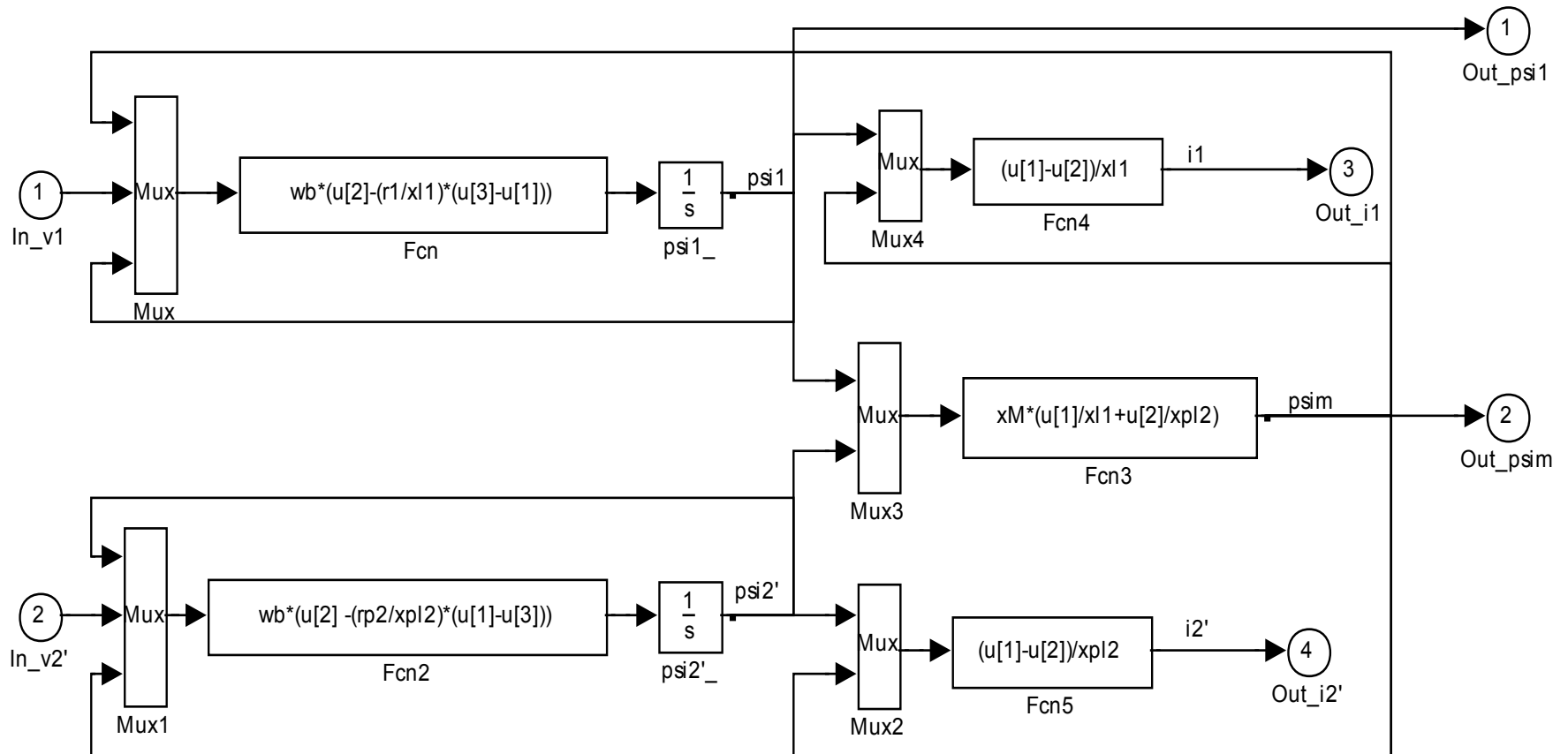
Čtvrtá „řídká“ „tříletka“ – 2008, 2009, 2011

- Téma: Nelineární modely speciálních zařízení primární a sekundární techniky v elektro-energetických soustavách,
- Operátorské rozhraní SCADA InTouch typu replika.
- Plnorozsahové Real-Time Digital Simulators (RTDS) elektrizační soustavy a inženýrské simulátory specifických zařízení sekundární - řídicí techniky (Synchrotakt, lokální automatiky, PMU a systémy WAMS, WAPaC, apod).
- Simulátor ochran a protihavarijních automatik - modely výkonových transformátorů
- Petr Neuman, **2008**
- BlackStart jako zvláštní případ ostrovního provozu
- Petr Neuman, Zdeněk Hruška, Pavel Hrdlička, Martin Příhoda, **2009**
- **MOŽNOSTI SIMULACE ZAŘÍZENÍ SYNCHROTAKT U TRENAŽÉRŮ ELEKTRÁREN A ELEKTRÁRENSKÝCH SOUSTAV**
- *Petr Neuman, Jaroslav Jirkovský , 2011*

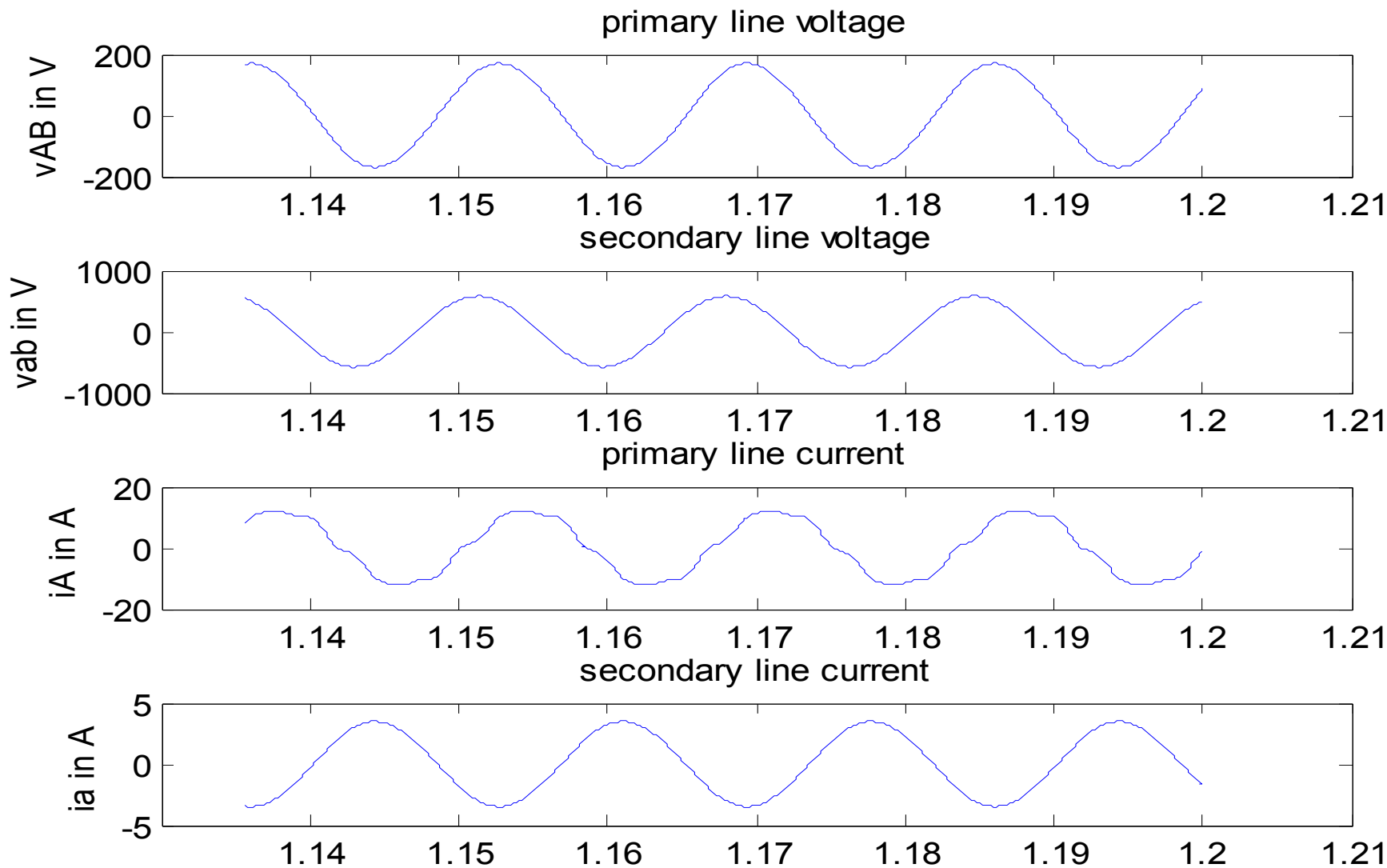
2008 Obr. 9. Trojfázový třívinut'ový transformátor



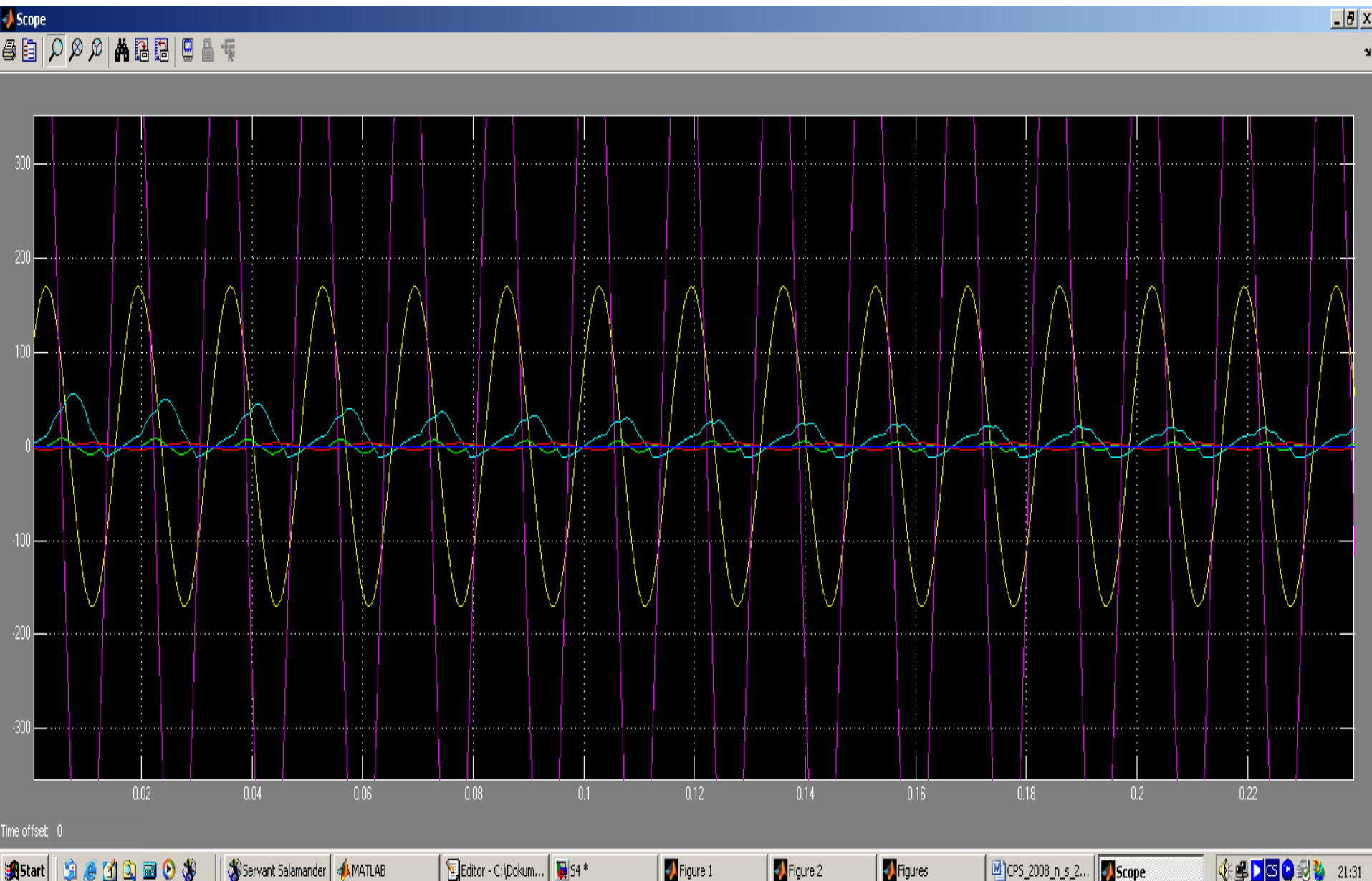
2008 Obr. 12. Podmodely „Linear“



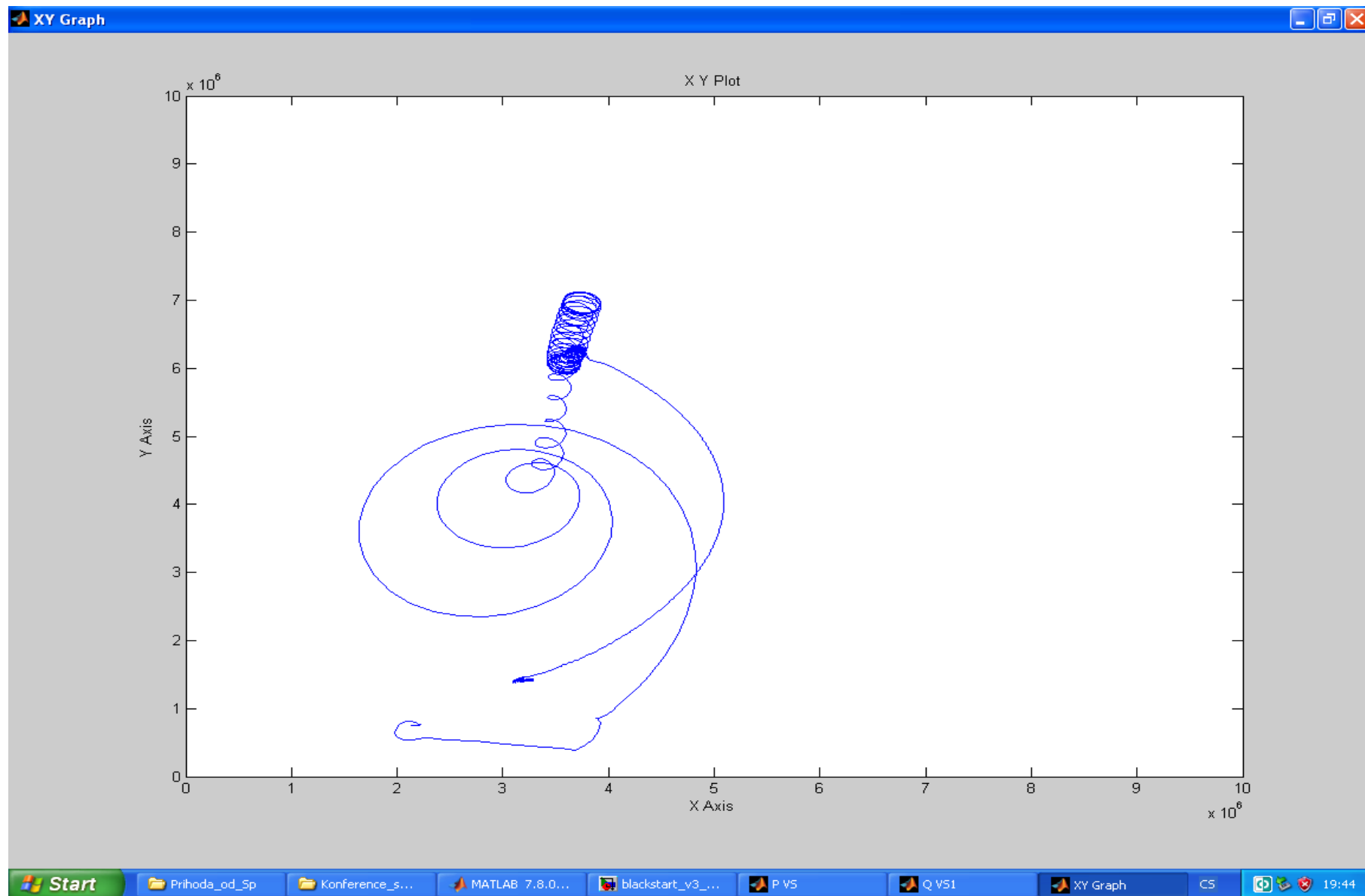
2008 Obr.12.a. Simulované průběhy síťových napětí a proudů



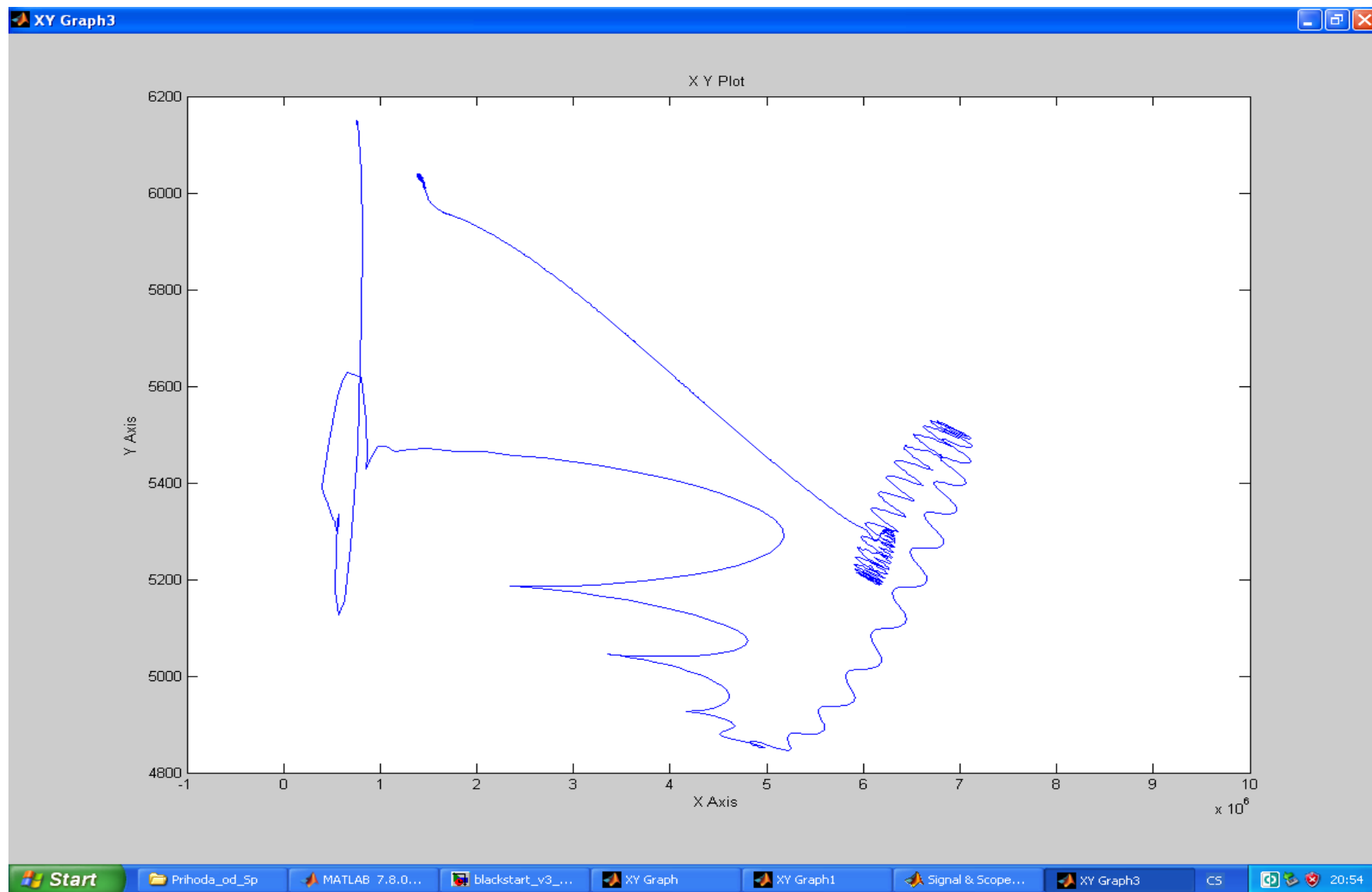
2008 Obr.12.c. Simulované průběhy veličin na osciloskopu SIMULINK



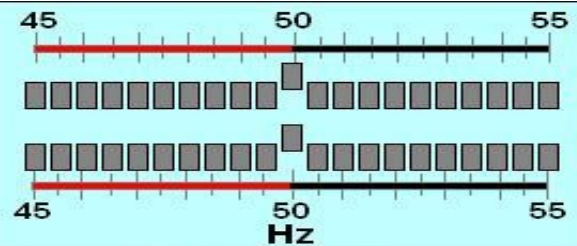
2009 Obr.29 Charakteristika P-Q vlastní spotřeby VS 6.3 kV elektrárny EOP



2009 Obr.30 Charakteristika Q-U vlastní spotřeby VS 6.3 kV elektrárny EOP

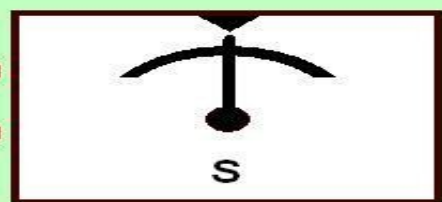


2011 Emulace skříně fázování, instruktor – stav „Přifázováno“, Př.2

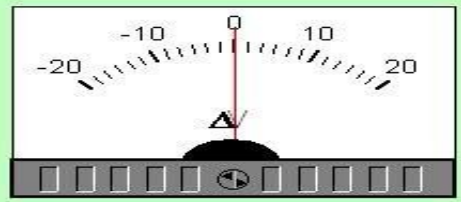


45 50 55
Hz

50.00
50.00



S



MÉNĚ VÍCE



Regulace otáček

FES RUČ BBC



VOLBA FÁZOVAČE

ZAP FÁZOVÁNÍ



FÁZOVACÍ SOUPRAVA

Vynulovat

dfi **45.68**

dfi kor **-4.32**

df **0.56**

dU **1.69**

BLOK 4,5,6 

BLOK 1,2,3 

T 101 

T 102 



R6.11 

PSP-6 

T10 

SP-18 

TG1 

TG2 

TG3 

TG4 



TG5 

TG6 

SP 110kV 

VOLBA R6kV

STAV ODBUZ. 

NULOVÁ POLOHA 

VYP 

ODBUZOVAČ TG1

STAV ODBUZ. 

NULOVÁ POLOHA 

VYP 

ODBUZOVAČ TG2

VOLBA R110kV

STAV ODBUZ. 

NULOVÁ POLOHA 

VYP 

ODBUZOVAČ TG3

STAV ODBUZ. 

NULOVÁ POLOHA 

VYP 

ODBUZOVAČ TG4

PŘÍPOJNICE W1



PŘÍPOJNICE W2

FÁZOVACÍ SOUPRAVA

V932



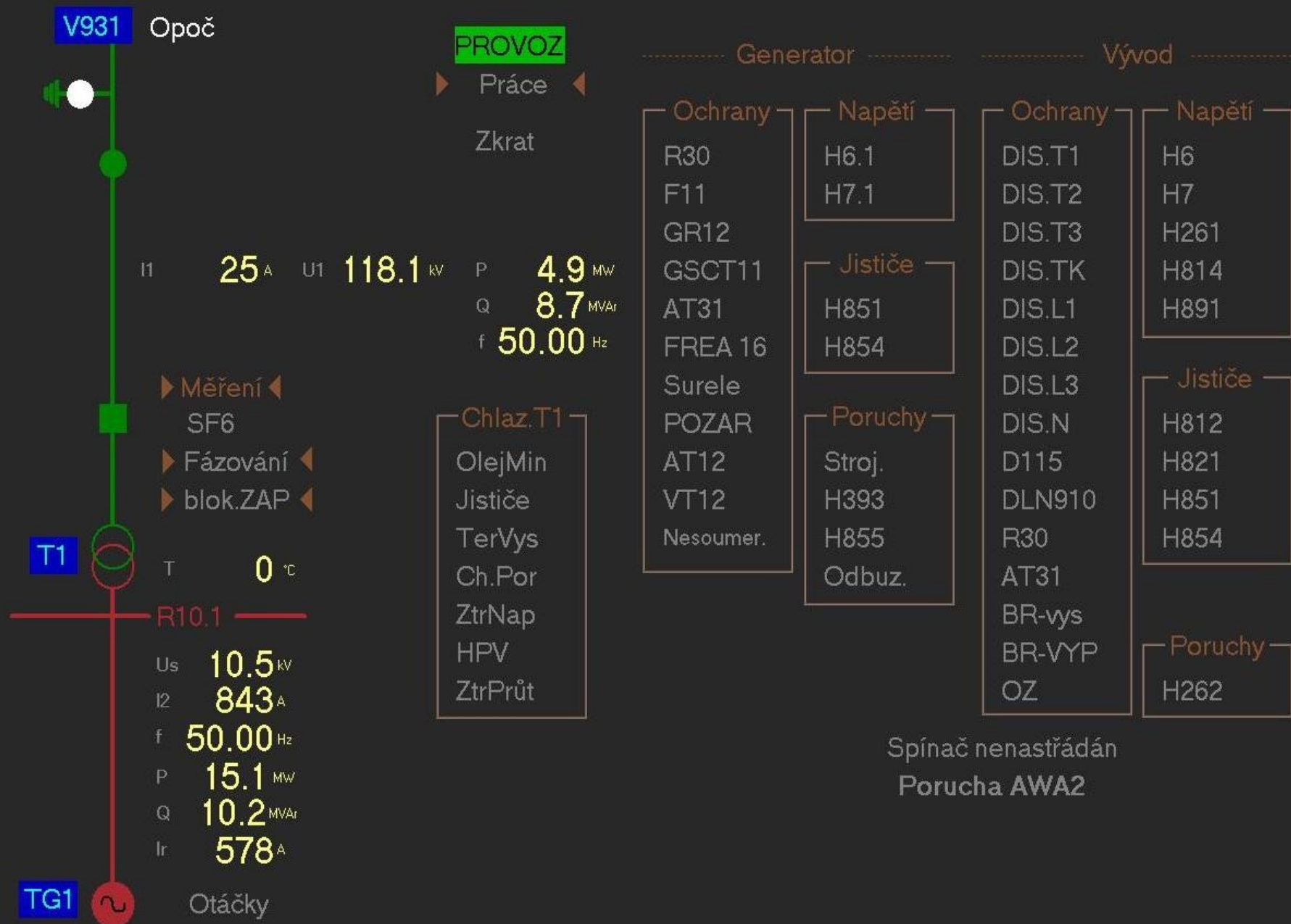
V931 PŘÍPOJNICE W2 V933

MĚŘENÍ FÁZOVÉHO POSUNU

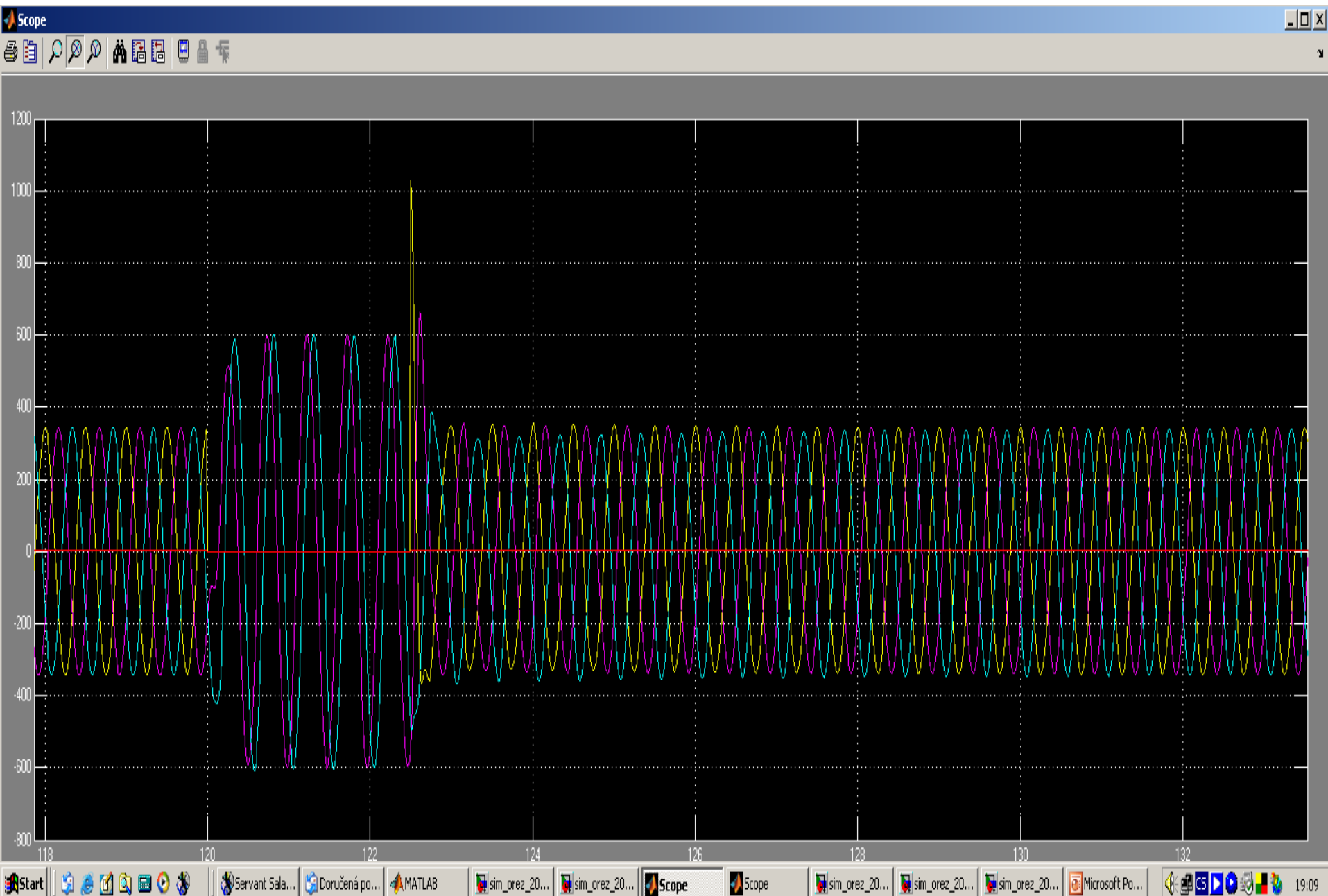
Zruš

2011 Monitor TG1 v InTouch – stav „Přifázováno“

G1



2011 Zkrat 1fázový 100 ms na SG (zemní)



Vložka z roku 2010: Řízení činného i jalového výkonu větrných turbín a farem se synchronními generátory

Petr Neuman, Marián Belyuš, ČEPS a.s., Praha

neuman@ceps.cz

Luboš Vargovčík, Jiří Marek, UNIS a.s., Brno

vargovcik@unis.cz

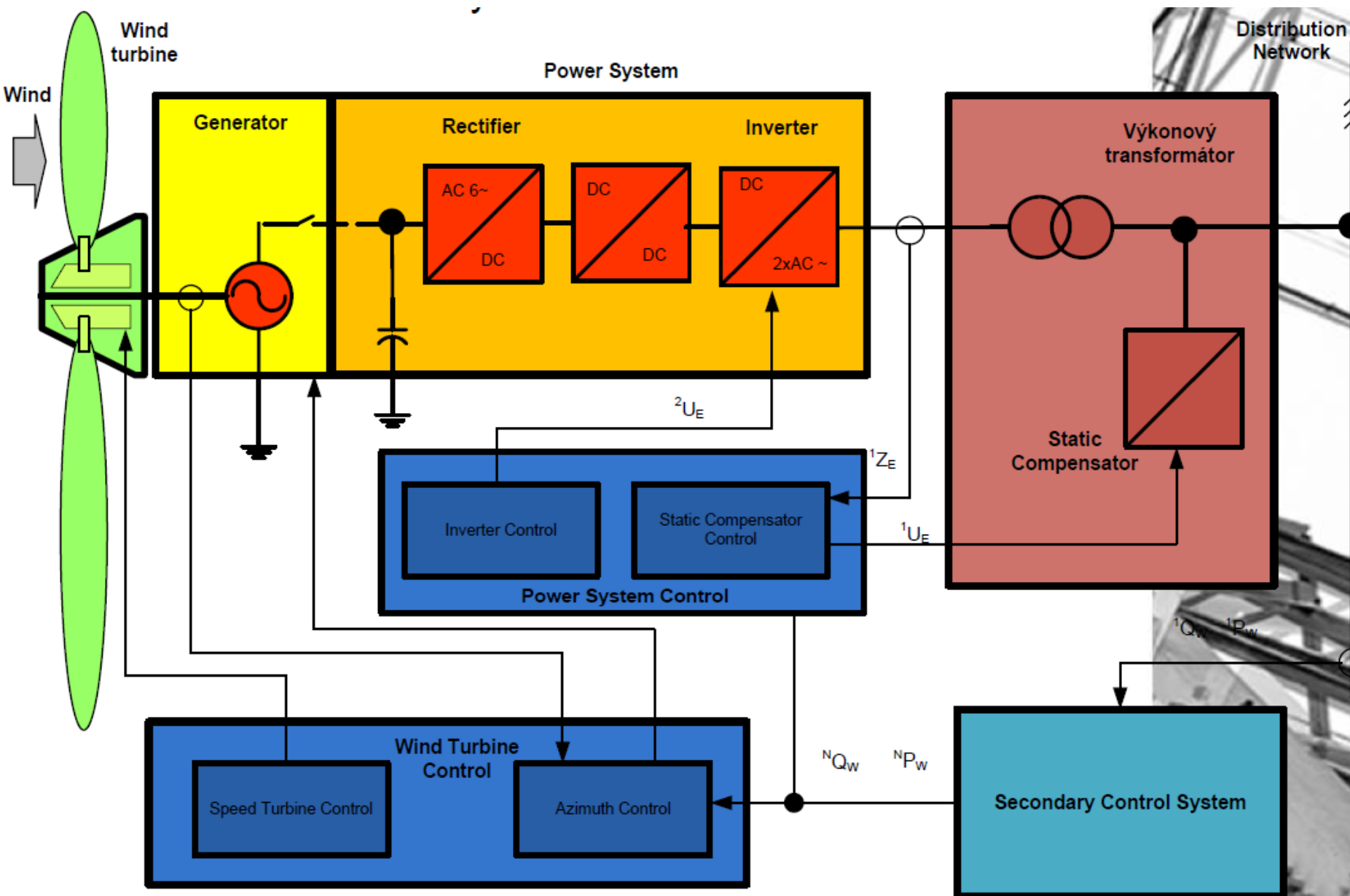
9th International Conference

CONTROL OF POWER SYSTEMS 2010

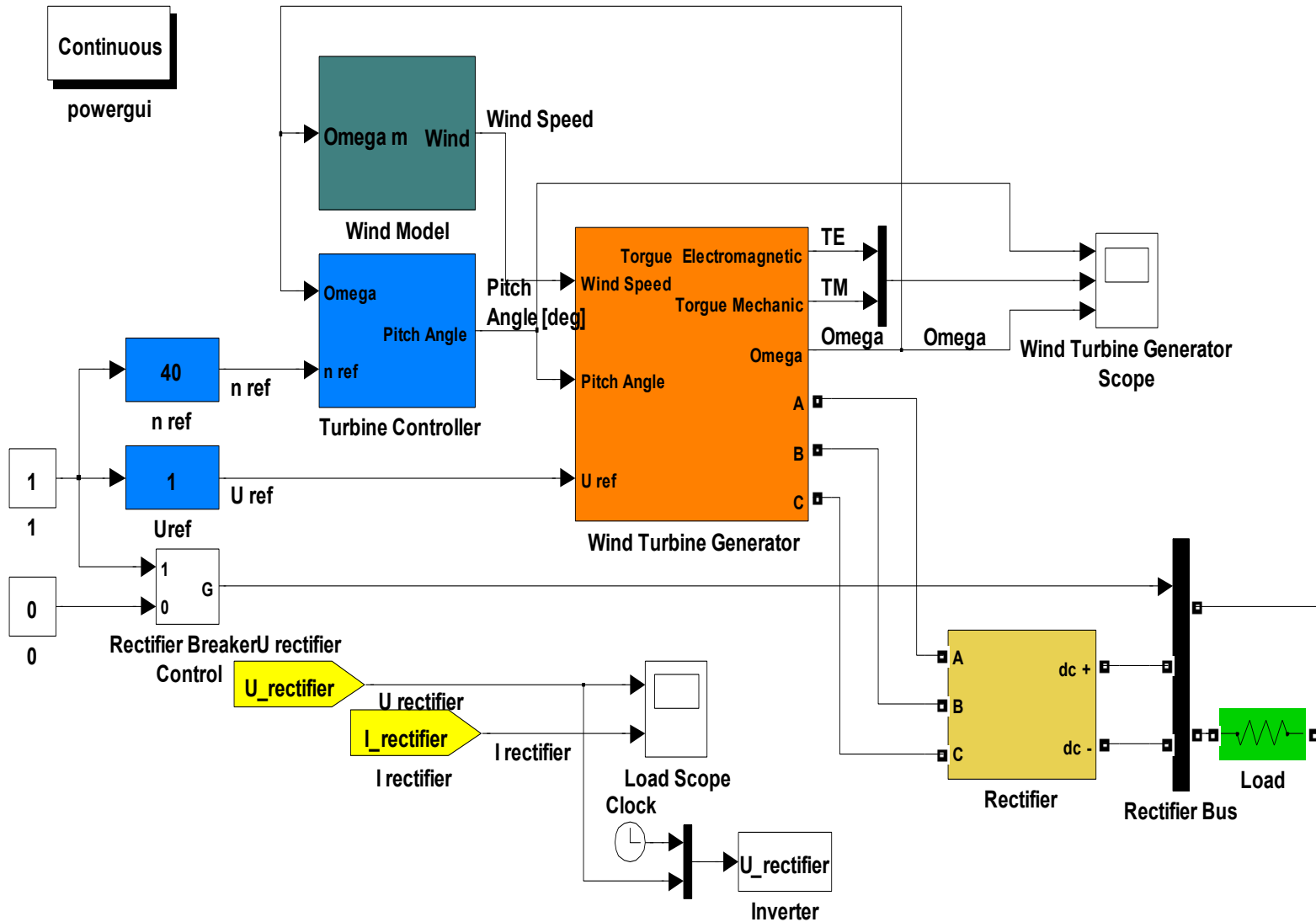
May 18-20, 2010,

Tatranské Matliare, High Tatras, Slovak Republic

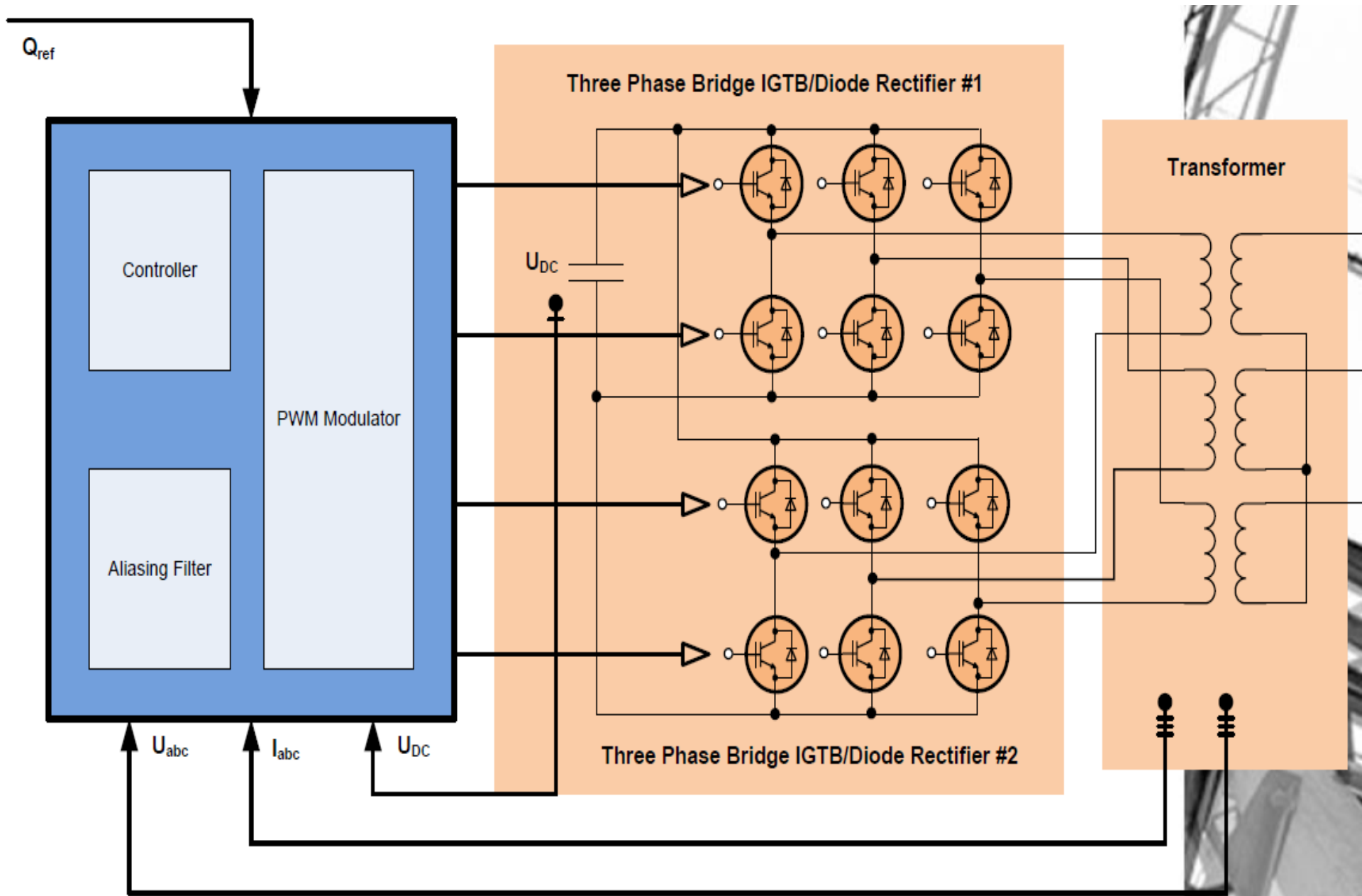
2010 Obr.13 Struktura větrné elektrárny



2010 Obr.14 Model větrné elektrárny



2010 Model statického kompenzátoru – třífázový IGBT usměrňovač



2010 Řízení činného i jalového výkonu větrných turbín a farem se synchronními generátory

Modelování a simulace pro uvedený případ větrné elektrárny přesahuje standardní možnosti simulačního inženýra uživatele.

Je k tomu nutný již přístup SW programátora – vývojáře specialisty (Ing. Jiří Marek ze společnosti UNIS, a.s.).

Takové schopnosti autor prezentace nemá,
a ani cíl a účel jeho práce to není.

Jeho cílem je „uživatelsky přijatelně a relativně rychle vyvinout / sestavit model, odladit a uvést do provozu v daném aplikačním projektu“.

Z tohoto hlediska musí autor, bohužel, hodnotit standardní programy **SIMULINK** – **SimPowerSystem**, jako „k tomuto účelu ne zcela připravené“.

V závěru publikace se zmíní o možném řešení na bázi SIMULINK – SPS.

Současná dlouhá „tříletka“ – 2013, 2015, 2017

- Začínající současná, určitě poslední a možná ani ne dokončená.
- Můj život se SIMULINKem v energetice
- *Petr Neuman, 2013*

Otázky pro budoucnost:

- Jaká bude tato „tříletky“ ?
- Bude ještě o energetické simulace zájem v roce 2017 ?
- Bude mít ještě autor dostatek výsledků pro prezentace ?
- Bude ještě elektro-energetika v Česku existovat ?
- (nebo již budeme elektrickou energii výhradně nakupovat z jiných nevyspělých zemí (ale s dostatkem uhlí, rudy a jiných nerostných surovin) nebo naopak z vyspělých zemí (výrobci a dodavatelé uhelných a **zejména jaderných elektráren**, mezi které však odmítáme patřit) !!

Energetické stigma

- Dovolím si hodnotit (bez snahy kritizovat společnost HUMUSOFT) popisovanou situaci jako důsledek skutečnosti,
- že aplikace programů a Toolboxů MATLAB – SIMULINK v elektroenergetice není v České republice příliš rozšířená
- (dokonce si troufnu tvrdit, že obecně simulace není v české energetice příliš rozšířená, protože klasičtí energetičtí odborníci problematiku “znají” a nepotřebují ji tedy simulovat).

- „Energetické stigma v ČR“ – energetika je špinavá,
- o špičkovou světovou úroveň odborníků v ČR není zájem (viz neustále se prodlužující výběrové řízení na Dostavbu JETE 3&4, aktualizace / neaktualizace Státní energetické koncepce SEK),
- ČR by mohla být jednou z mála zemí světa, která by byla schopná vyrábět vyspělé technické komponenty (reaktorové nádoby, řídicí subsystémy pro regulaci polohy tyčí) a zajistit generální dodávku celého jaderného bloku – viz JETE 1&2),
- o vysokou výrobu a export je zájem u automobilů a všech dalších oborů, nikoliv však o export elektrické energie!!!

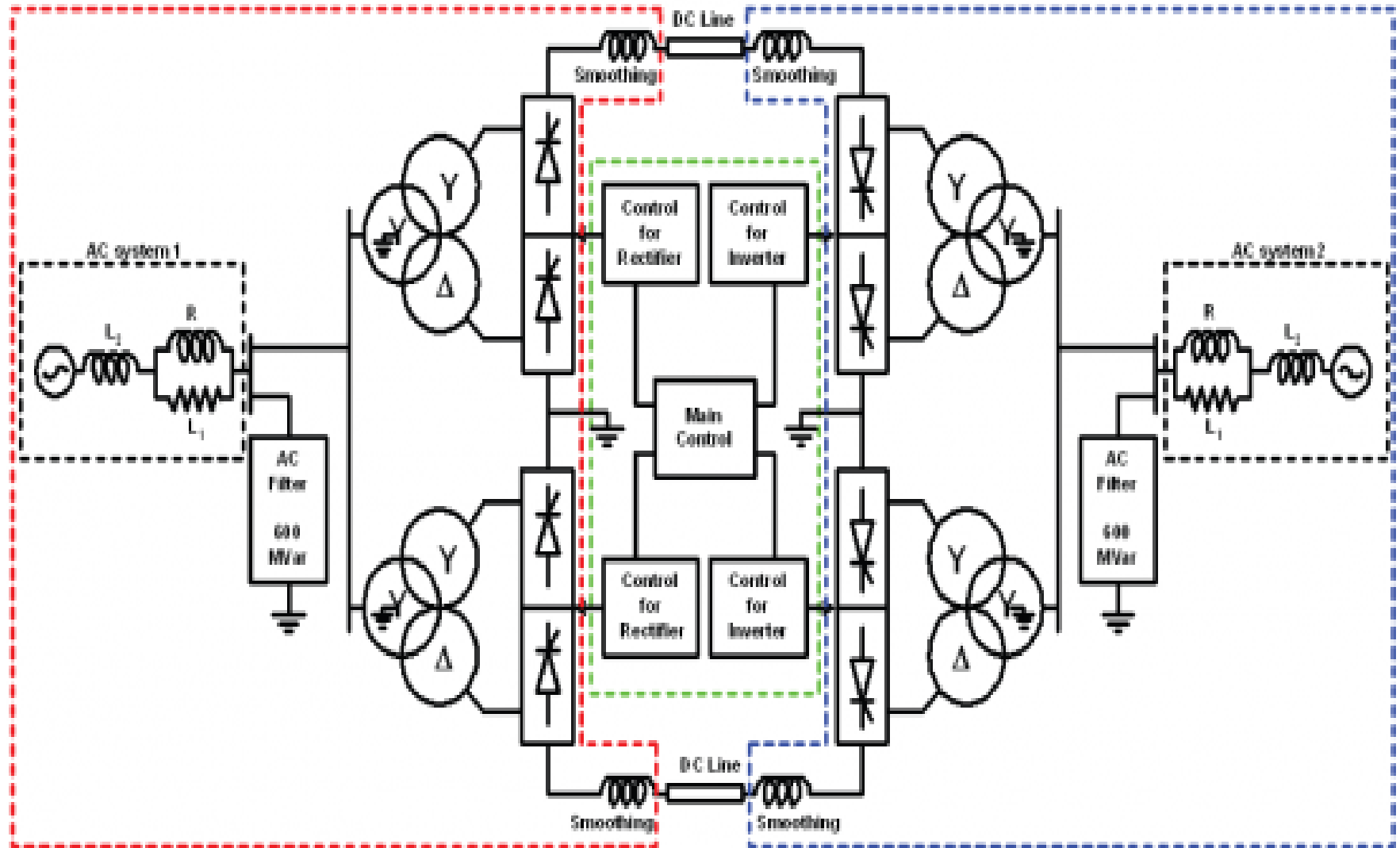
Diskriminace energetiky – proč ?

- Na rozdíl od toho např. používání v **automobilovém průmyslu**, při použití programů **dSPACE** je velmi rozšířené a HUMUSOFT tomu věnuje hodně úsilí.
- Výše uvedené “nedostatky” MATLAB – SIMULINK v elektroenergetice řeší např. zahraniční firma **OPAL RT**, ale zde je zase problém překonat regionální výhradní distributorství vzhledem k MATHWORKS.

Rešerže konkurenčních simulačních SW

- **OPAL RT, MATLAB-SIMULINK-SimPowerSystem**
- Tento produkt, tyto toolboxy, používá společnost **OPAL RT, Inc.**,
- Pro účely simulace elektro-energetických prvků a soustav, automatů a řídicích systémů na bázi silové elektroniky, a simulace v reálném čase (**Real Time Digital Simulator - RTDS**) vyvinula společnost OPAL RT několik specifických programových produktů, např.:
 - **eMEGAsim** – Real-Time Digital Simulator for Power System Engineers,
 - **ePHASORsim** – Real-Time Transient Stability Simulator,
 - **eDRIVEsim** – Electric Drives and Power Electronics HIL Test Benches,
 - **Hypersim** – Power System Real-Time Simulator, ...
- Uvedené SW produkty a HW zařízení slouží pro **Hard RT Simulation**, v tzv. smyčce **HW-In-the-Loop (HIL)**

Real-Time Simulation of a Simulink/SimPowerSystems model of a Bipolar HVDC System using ARTEMiS and RT-LAB



Real-Time Simulation of a Simulink/SimPowerSystems model of a Bipolar HVDC System using ARTEMiS and RT-LAB

- A model of a detailed bipolar HVDC system, developed using Simulink / **SimPowerSystems** and executed in Real-Time using **RT-LAB** and **ARTEMiS**.
- **DEMONSTRATION MODEL Description**
- The DC link 1000 MW (± 500 kV, 1 kA per pole) is used to transmit power from a 500 kV, 5000 MVA, 60 Hz network to a 345 kV, 10 000 MVA, 50 Hz network.
- This demo models a detailed **bipolar HVDC system** (viz Germany Plan).

At the inverter side, a resonant RLC circuit is included to study controller interaction. This circuit is modeled without SPS so the inverter-side grid impedance Z , defined by short-circuit power, resonance frequency and damping, are continuously adjustable during run-time.

Závěr a budoucnost ?

nevím, neznám, a spíše chmurná než optimismem projasněná ... ?

Děkuji za pozornost a schovívavost,

Ing. Petr Neuman, CSc.

NEUREG, Praha

neumanp@volny.cz

Mobil: +420 777 648 906