



# Regulace elektrárenského bloku

Ivan Petružela



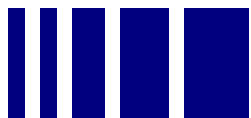
## Osnova

- Regulace elektrárenského bloku
- Blokové schéma technologických celků bloku JE
- Blokové schéma automatického řízení bloku JE z CR
- Popis regulátoru výkonu TG (EDU PP 092), regulace zdroje a TG
  - Obvod zadání výkonu TG
  - Obvod korektoru frekvence, vakua
  - Obvody korektorů tlaku
  - ORZ a Blok regulátorů
  - Obvod fázovače a vlastní spotřeby (VS)
  - Obvod ochran
  - Obvod turbinového polohového ovladače - TPO
  - Obvod korektoru tlaku ostrova KTO
- Režimy regulátoru výkonu
- Zjednodušené schéma digitálního řízení TG ETE (0TC 017/1)
- Organizátor řízení
- Režimy řízení reaktoru, turbíny a PSK
- Účel a základní principy regulace TG ETE
  - Zadání cvičení
    - schéma hlavních technologických parametrů a tepelná bilance bloku
    - odezva bloku na změnu frekvence ES

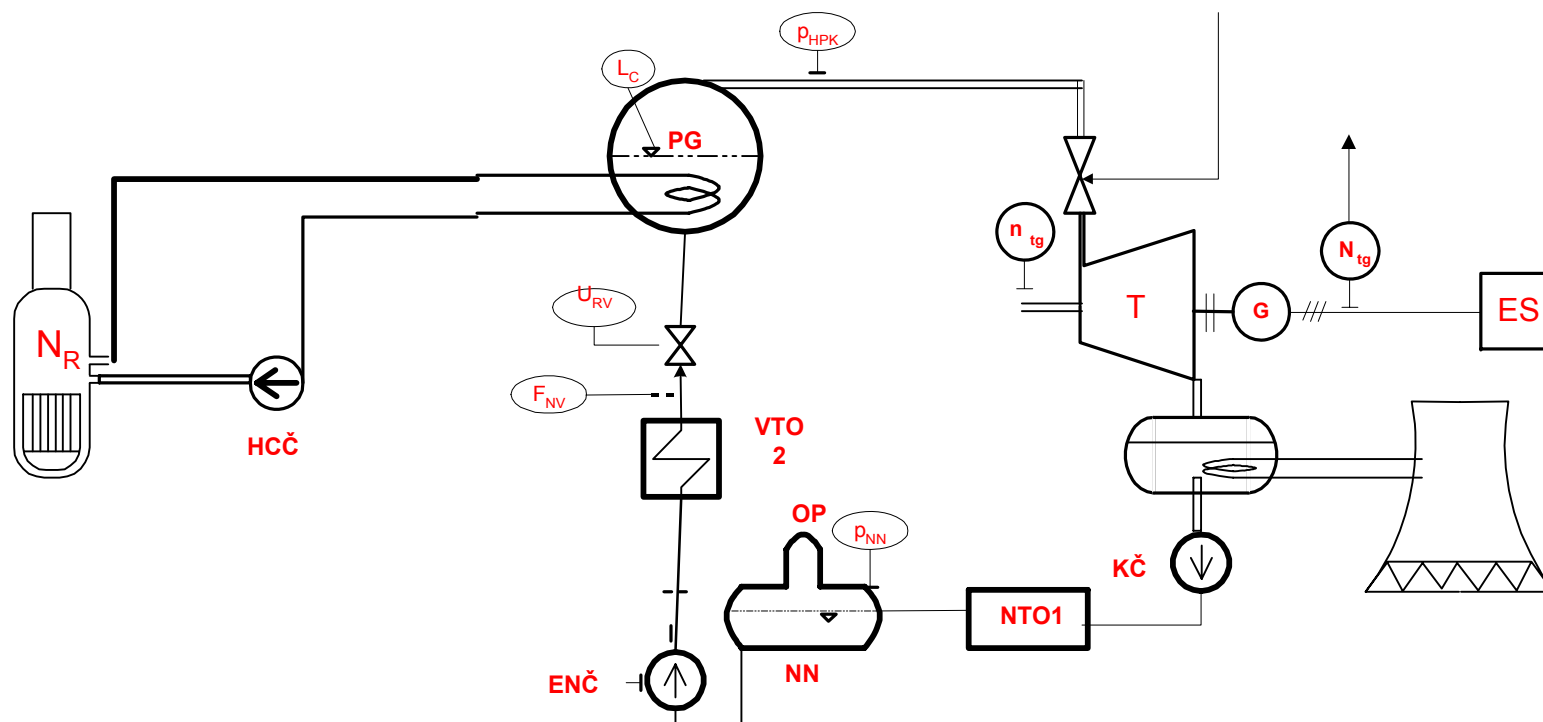


## Regulace elektrárenského bloku

- Regulace výkonu bloku se provádí v hlavní výrobní ose, kterou tvoří technologie výroby páry a elektrické energie.
  - zdroj tepelné energie (jaderný reaktor, kotel)
  - zdroj elektrické energie (turbogenerátor)
- Obecně může regulace výkonu bloku probíhat ve dvou režimech:
  - od zdroje k turbíně
    - výkon bloku je řízen primárním zdrojem a turbogenerátory se přizpůsobí tomuto výkonu tak, aby byla zachována tepelná bilanční výkonová rovnováha
  - od turbíny ke zdroji
    - výkon bloku je řízen výkony turbogenerátorů a regulací na reaktoru je tento výkon udržován tak, aby byla zachována bilanční výkonová rovnováha
- Za nominálního provozu bloku je základní režim od turbíny ke zdroji, kdy se turbína přizpůsobuje svým výkonem požadavkům dispečinku na dodávaný výkon do elektrizační soustavy a primární zdroj případné změny výkonu odreguluje změnou svého výkonu.
- Za nenominálního provozu v případě poruchy musíme rozlišit, kde porucha vznikla.
  - V případě poruchy na sekundárním okruhu je většinou výhodné použít režim od turbíny ke zdroji, neboť řídicí systém TG na tyto poruchy reaguje snížením výkonu TG a řídicí systém zdroje odreguluje požadované snížení výkonu bloku.
  - V opačném případě, kdy porucha ovlivňuje činnost zdroje, je nutné z hlediska zajištění bezpečnosti prvotně stabilizovat výkon zdroje a z tohoto důvodu je použít režim od JR k TG.
- Pro oba hlavní režimy bloku je společným kritériem zajištění bilanční výkonové rovnováhy mezi produkcí a spotřebou tepelné energie (výrobou elektřiny) bloku při zvoleném regulačním programu konstantního tlaku páry v hlavním parním kolektoru.

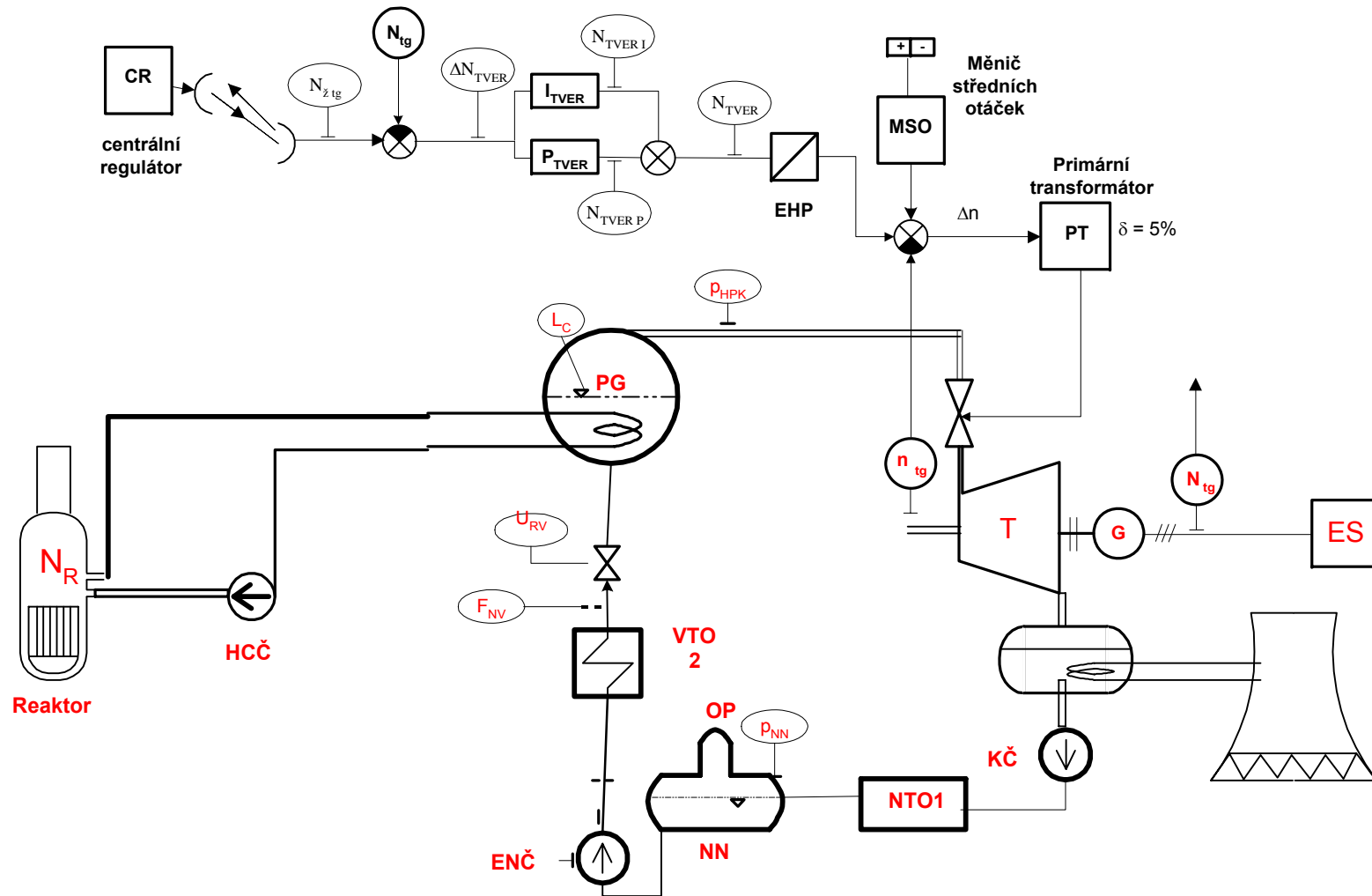


## Blokové schéma technologických celků bloku JE



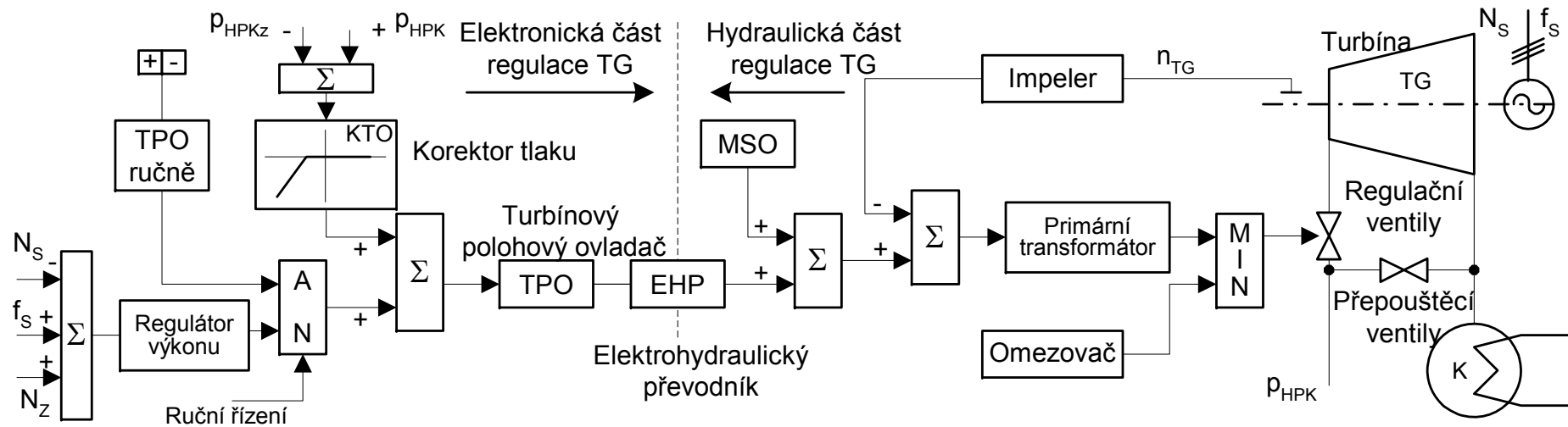


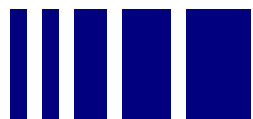
# Blokové schéma automatického řízení bloku JE z CR



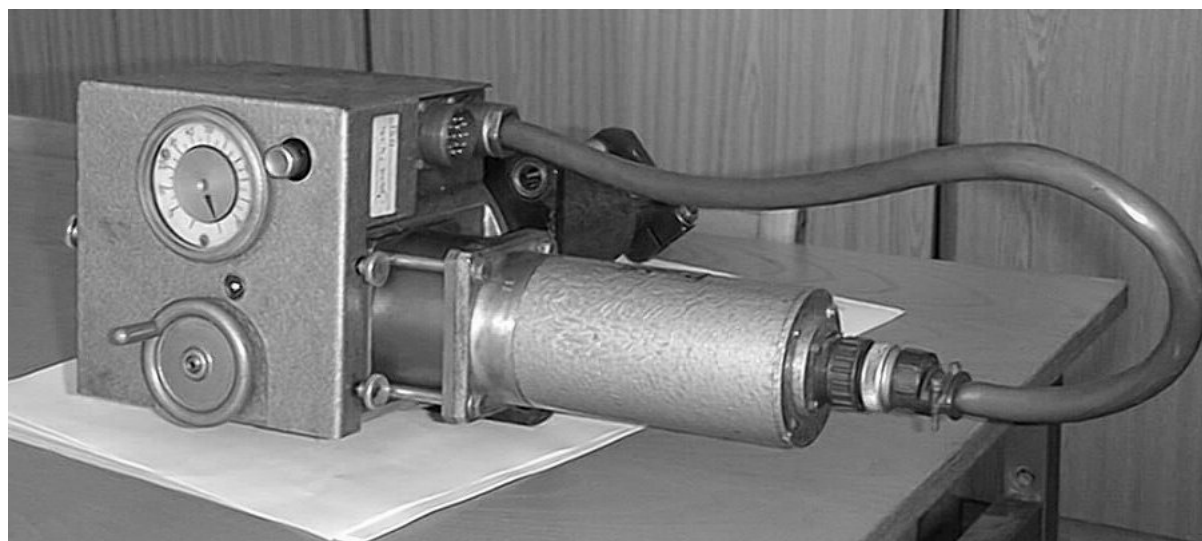


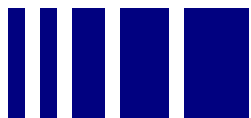
## Zjednodušené schéma řízení starší TG s EHP



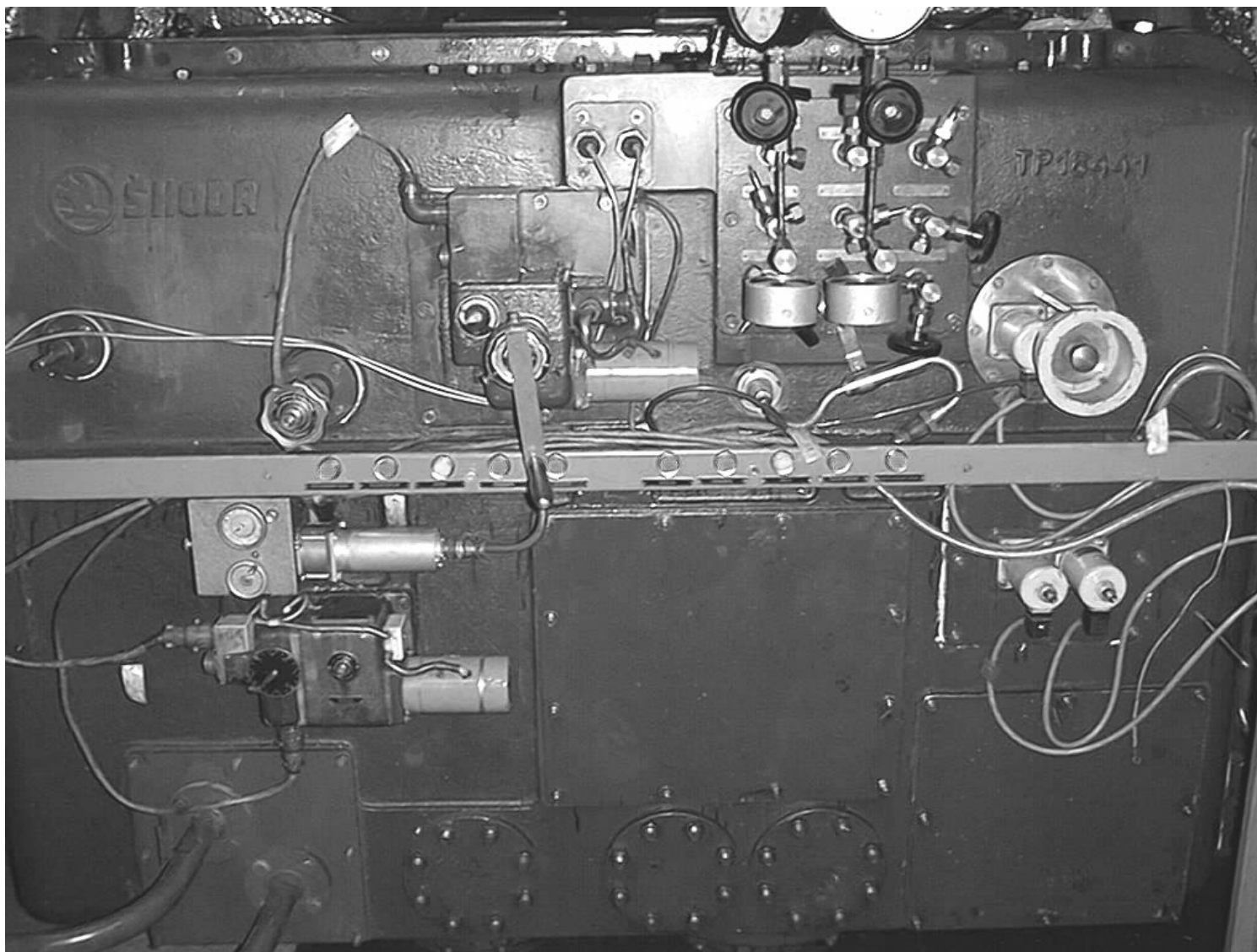


## Elektrohydraulický převodník EHP-08





## Začlenění EHP-08 do hydraulické regulace TG





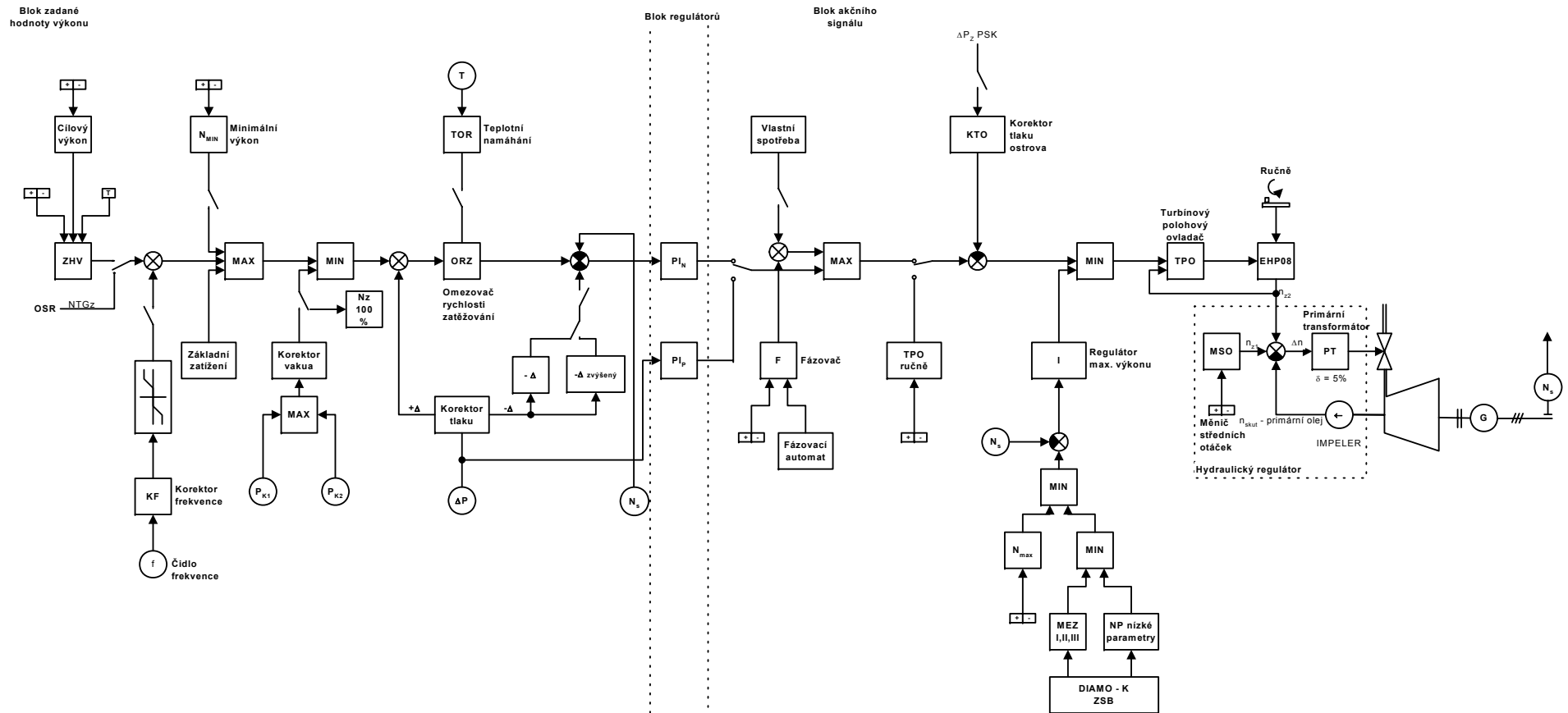


## Popis regulátoru výkonu TG (EDU PP 092)

- **Regulátor výkonu TG je určen pro:**
  - automatickou regulaci výkonu TG
  - automatickou regulaci tlaku páry v HPK
  - ruční ovládání regulačních ventilů TPO-R
  - automatické snížení výkonu TG při aktivaci limitačních signálů MEZ I, II, III a nízké parametry bloku NP
  - zajištění pomocných funkcí při fázování TG, přechodu bloku na vlastní spotřebu VS nebo fázovací otáčky
  - proporcionální korekci zadané hodnoty výkonu TG při změnách jmenovitých veličin (tlak páry v HPK, tlak v kondenzátorech HK, frekvence v elektrizační soustavě)
  - provoz bloku v primární regulaci frekvence
  - provoz bloku v režimu „OSTROVNÍ PROVOZ“
- **Pro splnění těchto funkcí regulátor výkonu TG obsahuje tyto základní obvody:**
  - blok zadané hodnoty výkonu
  - blok regulátoru
  - blok akčního signálu
  - řídicí logické obvody



# Turbínový výkonový elektronický regulátor TVER-03

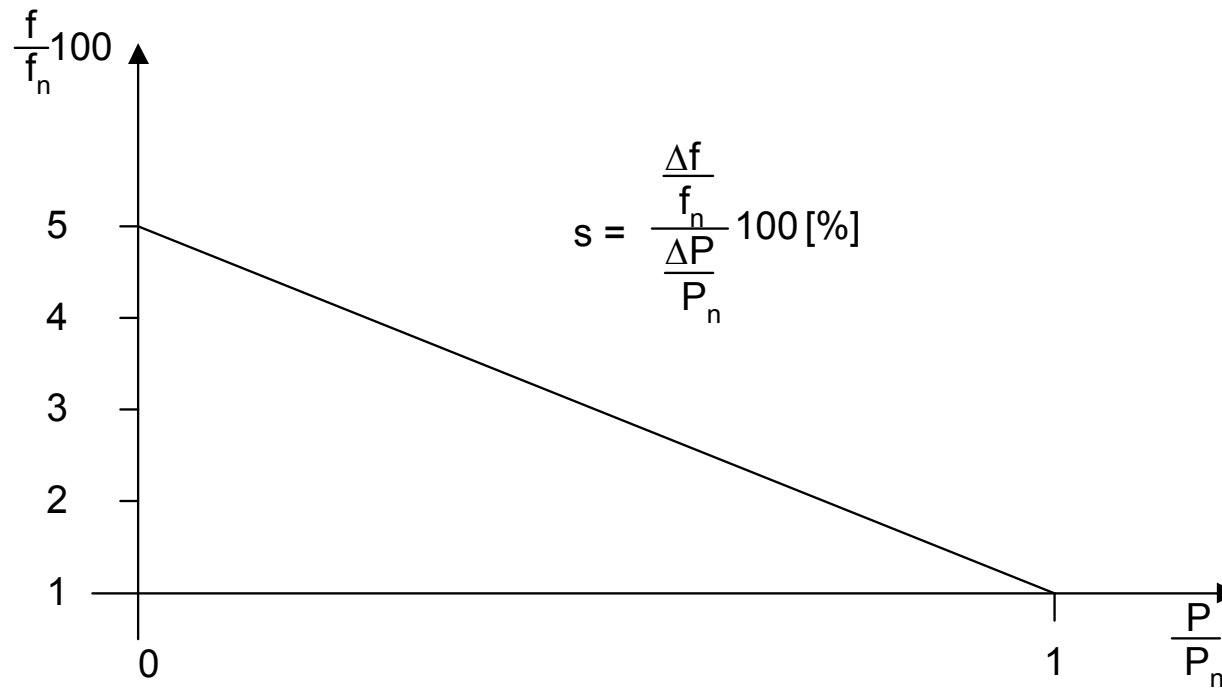




## Primární transformátor s měničem nerovnoměrnosti

- primární transformátor s měničem nerovnoměrnosti určuje statickou charakteristiku bloku a jeho změnu výkonu v případě izolované (ostrovní) ES

$$\Delta P = -K_{PR} * \Delta f$$





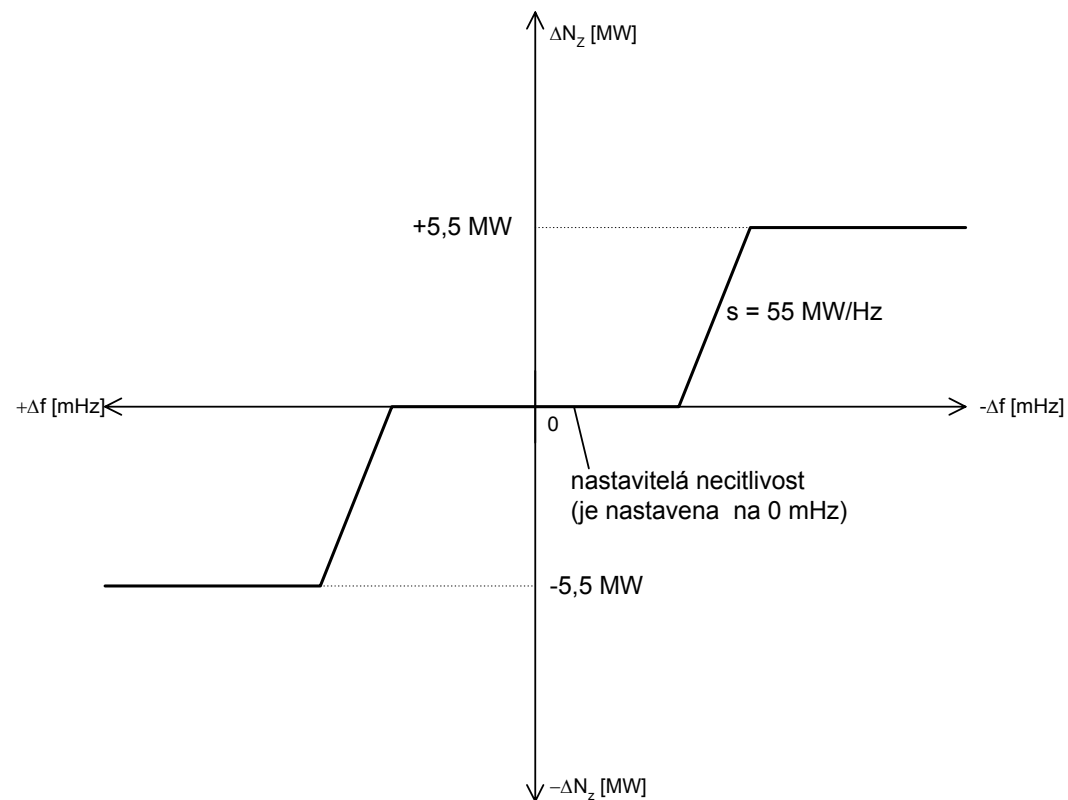
## Obvod zadání výkonu TG

- Obvod pro zadání výkonu slouží k nastavení požadované hodnoty výkonu turbíny (TG) v rozsahu 0 až 250 MW, a to:
  - ručně tlačítky z pultu operátora
  - zadáním cílového výkonu. Tento způsob se předvolí na pultu operátora a nastaví se požadovaná hodnota výkonu, zadaná hodnota se pak zvoleným trendem (0,5 %, 1 %, 2 %, 4 %, nebo jejich kombinací) zvyšuje či snižuje na předvolenou úroveň.
  - ovládání výkonu z nadřazeného regulátoru, přepnutím na dálkové ovládání (DO), kdy je zadaná hodnota výkonu přepnuta na číslicový regulátor OSR. Hodnota vstupuje před obvody volby trendu.
  - vysledováním na skutečný výkon v případech, kdy regulátor není v režimu regulace výkonu. To umožňuje pak beznárazový přechod do automatické regulace.
  - sledováním základního zatížení po přifázování TG k síti, kdy se na výběru MAX uplatní úroveň základního zatížení a zatíží TG na hodnotu přibližně 20 MW



## Obvod korektoru frekvence

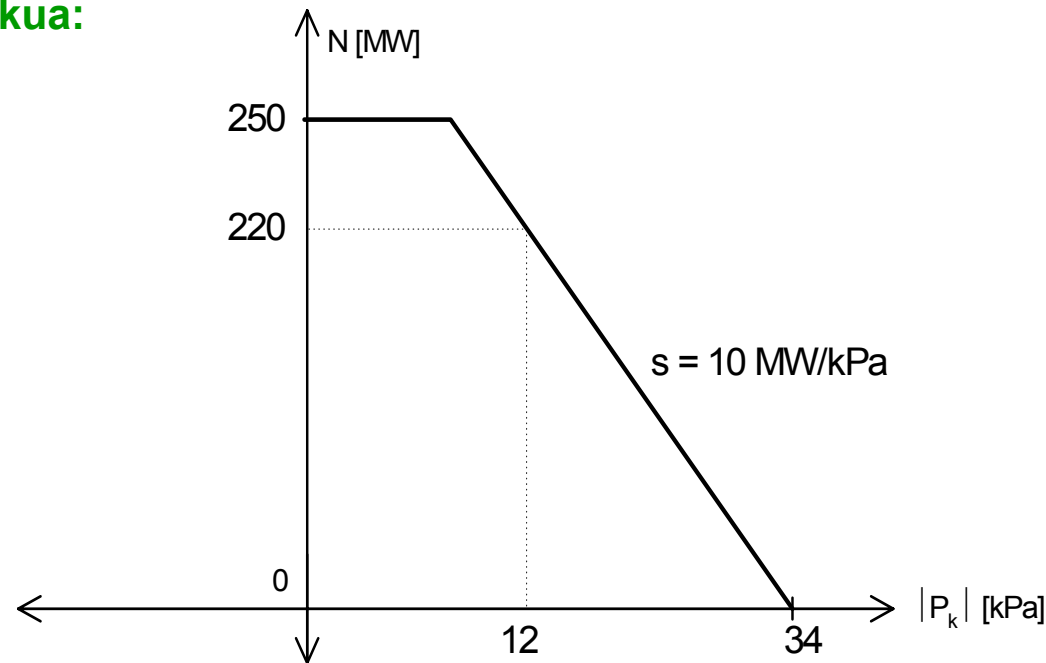
- Využívá se při primární regulaci frekvence, v režimu regulace výkonu TG s využitím samoregulačních vlastností reaktoru. Korektor frekvence koriguje zadanou hodnotu výkonu TG při odchylkách frekvence v síti. Korektor frekvence připojuje OSO. Pásmo necitlivosti korektoru frekvence určuje minimální velikost změny frekvence, při které se jaderný blok účastní primární regulace frekvence elektrizační soustavy. Omezení výstupního signálu z korektoru frekvence určuje maximální velikost změny výkonu bloku. Statická charakteristika korektoru frekvence:





## Obvod korektoru vakua

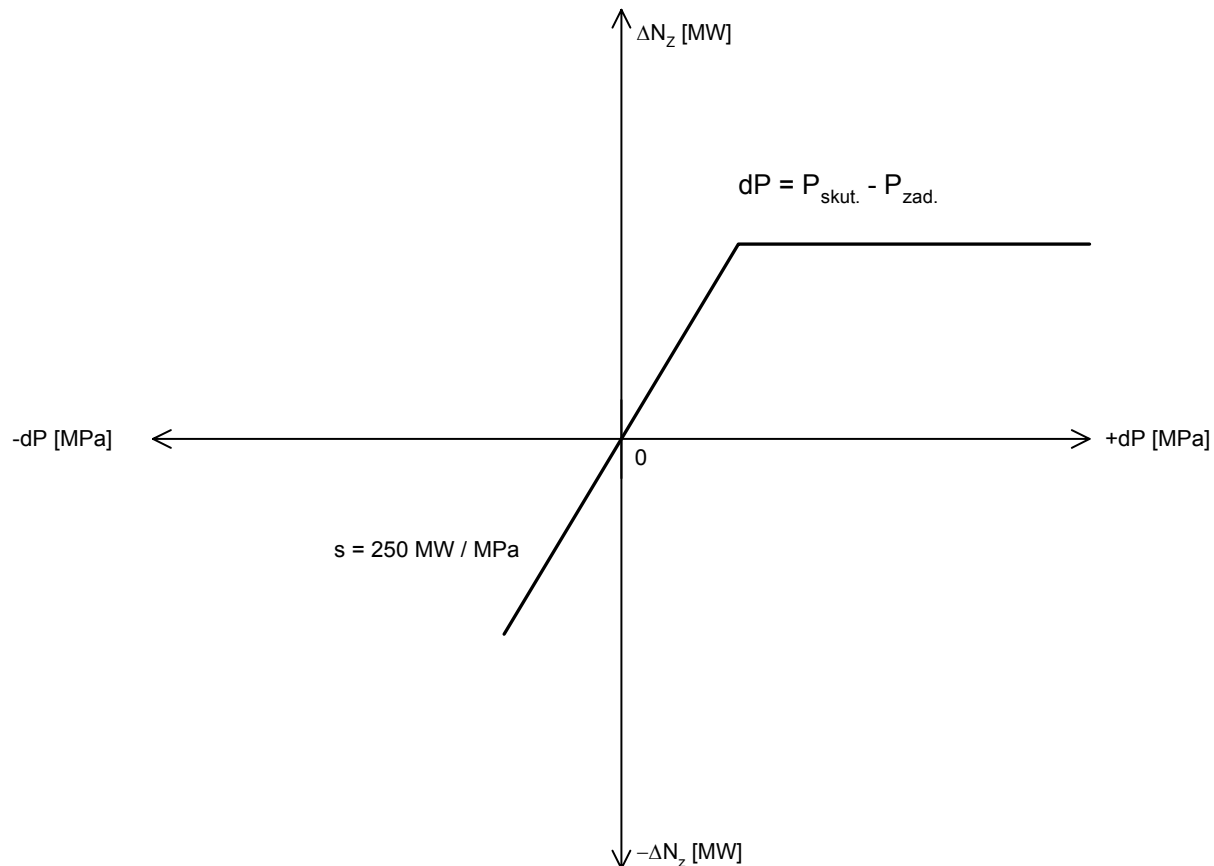
- Uplatňuje se v režimu regulace výkonu. Snižuje zadanou hodnotu v případě zhoršení vakua v kondenzátoru.
  - Signály z čidel vakua jsou zpracovány ve výběrovém členu MAX. Vyšší z hodnot slouží ke generování povolené max. zadané hodnoty výkonu v závislosti na vakuu. Ta se na výběrovém členu MIN porovnává s NZAD. Z obou hodnot je vybrána hodnota menší.
  - Obvod korektoru vakua připojuje OSO.
  - Při poruše čidel se korektor vakua automaticky vypne. Statická charakteristika korektoru vakua:





## Obvody korektorů tlaku

- Uplatňují se pouze v režimu regulace výkonu. Korigují odchylku tlaku páry v HPK od jmenovité hodnoty. Úkolem korektorů tlaku je stabilizovat tlak v HPK změnou výkonu TG. Vzhledem k jejich proporcionální charakteristice pracují s trvalou regulační odchylkou stabilizovaného parametru, což platí pro všechny korektory regulátoru výkonu TG. Velikost odchylky je určena statickou charakteristikou korektoru:





## ORZ a Blok regulátorů

- **Omezovač rychlosti zatížení - ORZ**
  - Slouží k omezení rychlosti změn zadané hodnoty výkonu a tím i k omezení rychlosti změn výkonu TG v režimu výkonu. Spolupracuje s modulem teplotního namáhání TI, který blokuje přenos změn NZAD při překročení tepelného namáhání rotoru TG. Připojení modulu TI k ORZ provádí OSO. Maximální možná změna NZAD přes ORZ je skokově 5 % (12,5 MW) s trendem 3 %/min (7,5 MW/min).
- **Blok regulátorů**
  - Je složen z PI regulátoru výkonu a PI regulátoru tlaku.
  - Regulátor výkonu slouží k regulaci výkonu TG na zadané hodnotě. Regulační odchylka  $\Delta N$  vzniká jako rozdíl NSKUT a NZAD na rozdílovém členu. Není-li regulátor v činnosti, je ve sledování výstupního signálu na převodník EHP.
  - Regulátor tlaku slouží k regulaci tlaku páry v HPK. Regulační odchylka  $\Delta p$  je opět využita z regulátoru PS-K. Není-li regulátor v činnosti, je ve sledování výstupního signálu na převodník EHP.





## Obvod fázovače a vlastní spotřeby (VS)

- Je určen k nafázování TG nebo zajištění provozu TG na vlastní spotřebě, tj. při odpojení generátoru od energetické sítě.
- Před nafázováním TG, popř. při práci TG do VS je výstup z PI regulátoru nulový a na výběrovém členu MAX se uplatňuje signál z fázovače. Signál z fázovače představuje při odfázování TG možnost měnit otáčky TG, a to:
  - ručně z pultu operátora
  - nebo automaticky z fázovacího automatu
- Signál vstupuje přes výběrové členy do obvodu TPO a pak do hydraulické regulace.
- Rozsah změn otáček TG pomocí fázovače je cca 60 ot/min. Umožňuje tedy citlivé doladění otáček TG na frekvenci sítě před jejím přifázováním.
- Obvod VS způsobí vyšší zadání otáček při práci generátoru do vlastní spotřeby a kompenzuje pokles otáček TG vlivem zatížení. (Pokud nejsou otáčky TG „drženy sítí“, pak se mění v závislosti na zatížení a lze je měnit fázovačem).



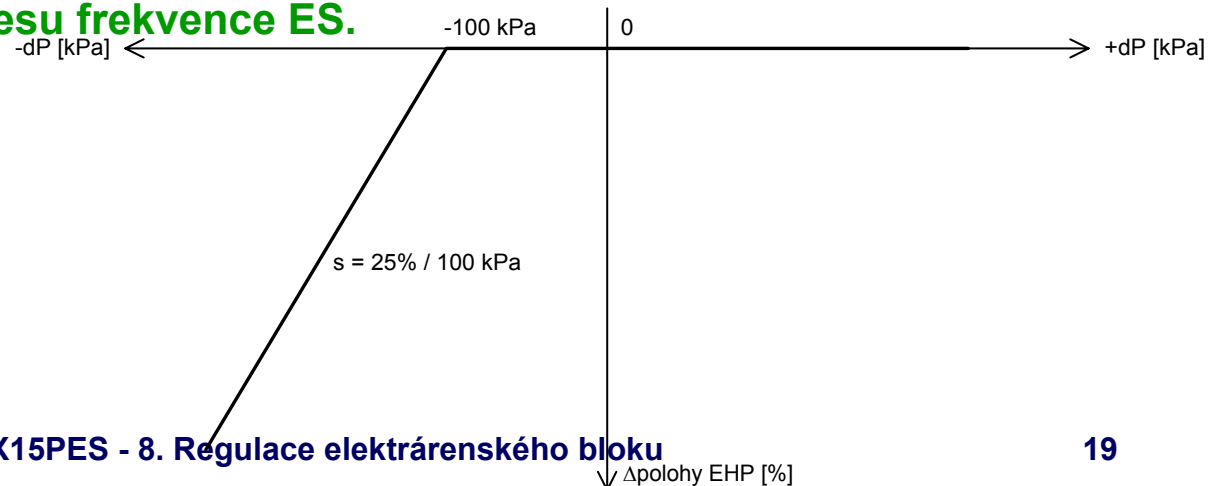
## Obvod ochran

- Uplatňuje se s nejvyšší prioritou ve všech režimech činnosti regulátoru. Automaticky limituje výkon TG na nižší výkonovou hladinu v závislosti na řídicích signálech z DIAMA-K. Činnost obvodu ochran je plně automatická bez možnosti ovlivnění operátorem II.O.
- Do obvodu ochran působí signály:
  - MEZ I, MEZ II, MEZ III a nízké parametry NP z DIAMA-K, část ZSB
  - hodnota maximálního výkonu NMAX, nastavená OSO
- Signál s nejnižší hodnotou limitovaného výkonu TG se vybere na výběrovém členu MIN a pak se porovnává se skutečným výkonem. Je-li skutečný výkon vyšší, pak I regulátor snižuje signál, který když se uplatní na výběrovém členu MIN, způsobí snižování výkonu TG. Požadované snížení je:
  - maximální výkon podle hodnoty nastavené operátorem, regulátor pak omezuje výkon na této úrovni
  - MEZ I = 75 % (187 MW), MEZ II = 50 % (125 MW), MEZ III = 30 % (75 MW) - formují se např. při výpadcích NČ, KČ, ztrátě buzení generátoru
  - nízké parametry NP, při příchodu tohoto signálu z DIAMA-K. Obvod ochran snižuje výkon TG rychlostí přibližně 1 %/s (2,5 MW/s). Působí při velkém poklesu hladiny v napájecí nádrži, nízký tlak v společném výtlaku ENČ.



## Turbínový polohový ovladač a Korektor tlaku ostrova

- **Obvod turbínového polohového ovladače - TPO**
  - Ovládá pomocí elektrohydraulického převodníku EHP-08 primární transformátor v hydraulické regulaci TG. Do turbínového polohového ovladače vstupuje signál z bloku regulátoru nebo obvodu TPO-RUČNĚ, kdy operátor přímo z pultu na BD mění výkon TG, regulátor je ve sledování.
- **Obvod korektoru tlaku ostrova KTO**
  - Regulátor výkonu TG byl ve vazbě na připojení ES ČR k UCPTÉ doplněn obvodem KTO. KTO se automaticky připojí při vzniku poruchového stavu ES, charakterizovaného odchylkou frekvence ES o 200 mHz.
  - KTO působí proti změně výkonu TG vyvolané poruchami na frekvenci ES. Je řízen regulační odchylkou tlaku páry v HPK. Při poklesu frekvence dojde k zatížení TG podle statické charakteristiky hydraulické regulace TG a tím vyvolanému poklesu tlaku v HPK.
  - KTO provede korekci polohy EHP tak, že částečně eliminuje vliv poruchy frekvence na výkon TG a následně výkon celého bloku. KTO tedy zajišťuje řízené zatěžování bloku při neřízeném poklesu frekvence ES.





## Režimy regulátoru výkonu

- Regulátor výkonu dovoluje provozovat turbosoustrojí v těchto režimech.
  1. Režim fázování
  2. Režim automatické regulace výkonu
  3. Režim automatické regulace tlaku
  4. Režim TPO - ručně
  5. Režim TPO - trendem

### 1. Režim fázování

- Tento režim je využíván v případech, kdy je turbína odpojena od energetické sítě.
- Uplatňuje se obvod fázovače. Tento umožňuje měnit otáčky nepřifázovaného TG.
- Pokud je navíc stav, kdy je připojena vlastní spotřeba, umožňuje korigovat otáčky TG v závislosti na zátěži.
- Před přifázováním je turbína najeta měničem středních otáček na otáčky poněkud nižší než je skutečná frekvence sítě.
- Fázovačem se provede synchronizace otáček TG se sítí. Tento režim se předvoluje automaticky při odpojení generátoru od energetické sítě.



## Režimy regulátoru výkonu

### 2. Režim automatické regulace výkonu

- Po přifázování přechází regulátor automaticky do režimu regulace výkonu a zatíží turbínu na hodnotu základního zatížení, tj. 20 MW.
- V tomto režimu se kromě PI regulátoru tlaku uplatňují všechny korekční obvody popsané dříve.
- Tento režim umožňuje:
  - skokově (do 1 minuty) zatížit TG na hodnotu základního zatížení
  - měnit výkon TG změnou zadané hodnoty
  - měnit výkon TG a v součinnosti s ARM5S i výkon celého bloku požadovaným trendem na zvolenou výkonovou hladinu
  - stabilizovat výkon TG (i bloku) na požadované hodnotě
  - korigovat výkon TG v závislosti na tlaku páry v HPK, na vakuu, na frekvenci ES a tím zvýšit stabilitu bloku
- Tento režim je základní při provozu bloku na nominálních parametrech.



## Režimy regulátoru výkonu

### 3. Režim automatické regulace tlaku

- V tomto režimu se uplatňuje PI regulátor tlaku a obvody bloku akčního signálu.
- Tento režim se uplatňuje v případech, kdy je nutno stabilizovat tlak páry v HPK, např. v okamžiku fázování druhé turbíny, kdy není žádoucí měnit výkon reaktoru.
- Blok je provozován převážně při nominálním tlaku, žádaná hodnota tlaku je převážně neměnná.

### 4. Režim TPO - ručně

- V tomto režimu operátor přímo tlačítky +/- ovládá převodník EHP s využitím turbínového polohového ovladače TPO a tím zasahuje přímo do hydraulické regulace turbíny.
- TPO - ručně se používá při potřebě rychlé stabilizace parametrů bloku.
- Režim TPO - ručně je použit také v případě poruchových stavů automatického regulátoru výkonu TG nebo jeho čidel.



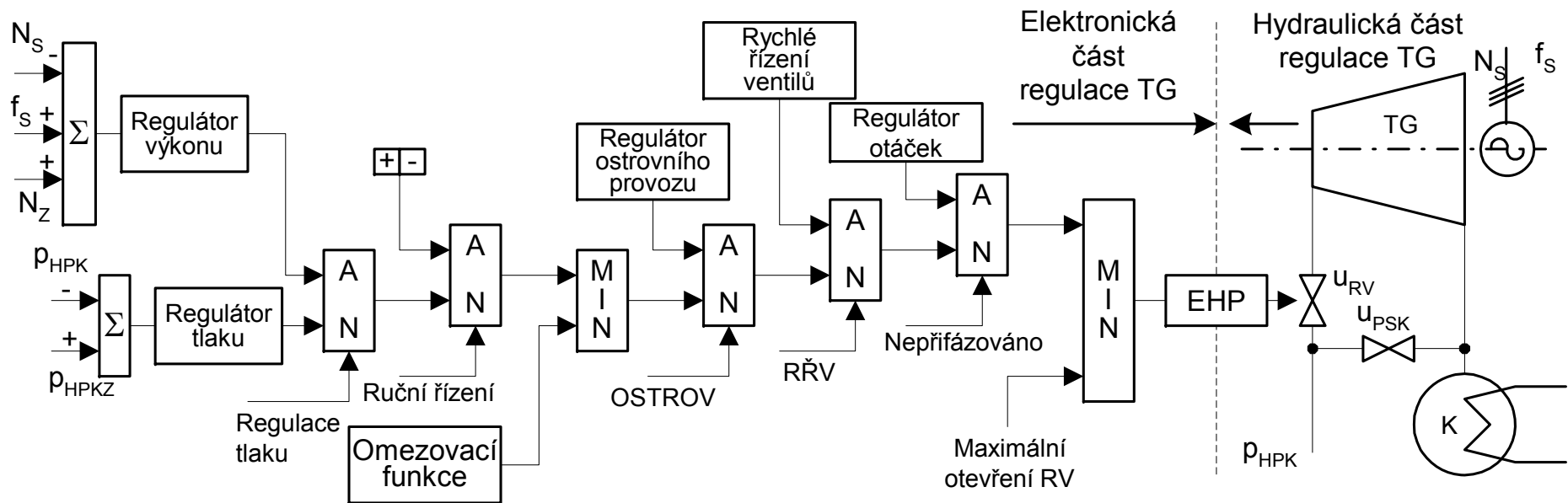
## Režimy regulátoru výkonu

### 5. Režim TPO - trendem

- Je to režim, kdy působením obvodu ochran dochází k automatickému snižování výkonu nezávisle na činnosti operátora.
  - Působí ve všech režimech v okamžiku, kdy výstup I členu obvodu ochran získá prioritu na výběrovém členu MIN.
  - Současně se snižováním skutečného výkonu TG se automaticky snižuje i hodnota ručního zadavače TPO a to konstantní rychlostí – trendem.
  - Po ukončení snižování výkonu v okamžiku, kdy přestane působit obvod ochran a ruční zadavač sníží - „sjede“ na hodnotu nižší než je výstup z I členu, je ukončen režim TPO - trendem a regulátor je v režimu TPO - ručně.
  - Při působení signálů MEZ regulátor sníží výkon na příslušnou výkonovou hladinu a na této omezuje a stabilizuje výkon. Při působení signálu „nízké parametry“ snižuje regulátor v režimu TPO - trendem výkon po dobu působení tohoto signálu.
  - Maximální výkon se projevuje tak, že při překročení této hodnoty regulátor přechází do režimu TPO - trendem a omezuje výkon na této hladině
- Při ztrátě napájení, popř. při poruše TPO, EHP je regulátor „MIMO FUNKCI“ a výkon TG lze měnit pouze omezovačem nebo měničem středních otáček z místa (prvky hydraulické regulace).



## Zjednodušené schéma digitálního řízení TG (ETE)







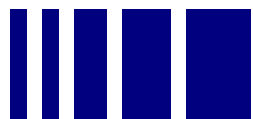
## Řídicí systém JE ETE (0TC 017/1)

- Cílem provozního předpisu 0TC 017/1 je popsat hlavní regulace bloku sloužící pro řízení technologického procesu ve všech projektových režimech bloku. Předpis je určen pro personál blokové dozorny.
- Organizátor řízení je hlavním řídicím prostředkem bloku, který udržuje základní parametry ve vymezeném pásmu. Funkce OŘ lze rozdělit na dvě samostatné části:
  - **logická část**
    - vydává logické povely na volbu struktur regulátorů reaktoru, turbogenerátoru a přepouštěcích stanic do kondenzátoru za normálního provozu, při výpadku komponent a při působení LS a HO funkci zadavačů neutronového výkonu, střední teploty chladiva, tlaku v HPK
  - **spojitá část**
    - zajišťuje generování žádaných hodnot tlaku v HPK, střední teploty chladiva a neutronového výkonu včetně omezení
    - při najíždění a odstavování bloku iniciuje pomocný sekvenční automat TURBOSTEP, programové zatížení bloku. Během najíždění při bezvýkonovém stavu generuje tepelný výkon reaktoru potřebný pro ohřev rotoru TG, dosažení jmenovitých otáček, fázování a dosažení minimálního výkonu.
- Regulace výkonu TG a změna výkonu v souladu s požadavky energetického dispečinku jsou koordinovány OŘ.
- Při působení LS OŘ zajišťuje odpovídající chování systémů podle matic přechodů stavů.



## Režimy řízení reaktoru, turbíny a PSK

- **Režimy reaktoru**
  - je možné navolit režim “Nr“ (v pásmu 3 - 100 %), “Pr“ (v pásmu 15 - 100 %), “Tr“ (v pásmu 15 - 100 %) a “RU“. Algoritmus v Organizátoru řízení zajišťuje správné navolení žádaného režimu,
  - volba režimů reaktoru
    - režim B se navolí automaticky při zapůsobení ROR, nebo při působení LS d (volný pád všech regulačních orgánů)
    - režim C se navolí automaticky při zapůsobení LS a, c nebo při působení LS d (volný pád vybraných regulačních orgánů)
- **Režimy turbíny**
  - je možné navolit režim “Nt“, “Pt“, “RU“
  - režim A se navolí automaticky v době dosahování základního zatížení, působení omezovacích regulací, nebo působení teplotního namáhání



## Režimy řízení reaktoru, turbíny a PSK

		REAKTOR					
		RU	Nr	Pr	Tr	B HO LS-D	C LS-A, C, D
TURBÍNA	RU	XP=0	XP=0	XP	XP		XP=0
	Nt	XP=0	XP=0	XP	XP		XP=0
	Pt	XP	XP				XP
	S	XP=0	XP=0			XP=0 VTRZV	XP=0
		NENFAZ	NENFAZ				
	Ost	XP=0	XP=0	XP			XP=0
	RŘV	XP=0	XP=0				
A	XP=0	XP=0	XP	XP		XP=0	

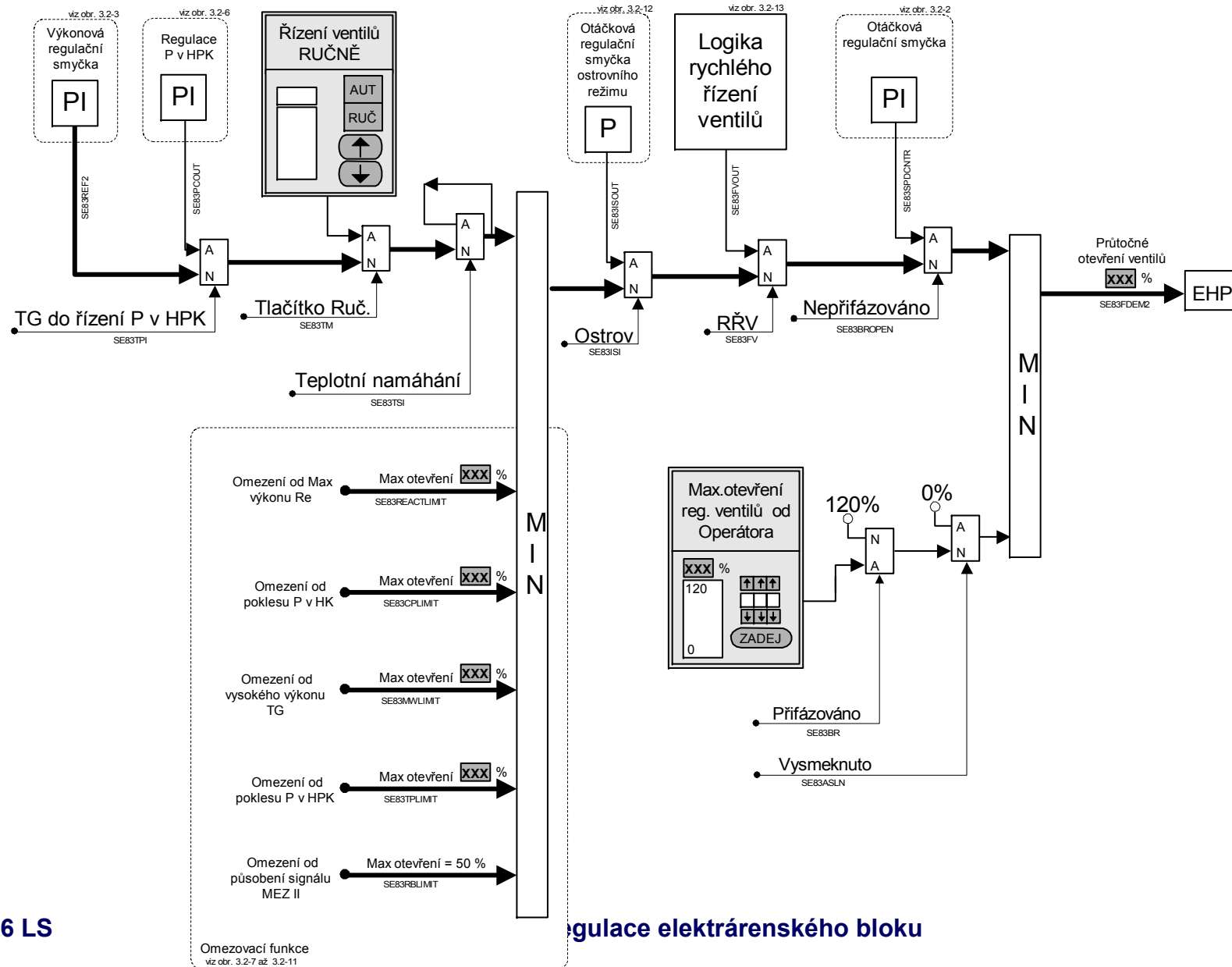


## Účel a základní principy regulace TG

- **Systém řízení TG (Turbine Control System – TCS) je realizován v systému WDPF a tvoří jej:**
  - **Operator Auto (OA) (JZ32A005)**
  - **Automatic Turbine Control (ATC) (JZ32A004)**
  - **Rotor Stress Monitor (RSM) (JZ32A007)**
- **Prezentace informací o funkci TCS a ovládání operátorem je zajištěno prostřednictvím blokového informačního systému (UIS).**
- **Součástí řídicího systému TG je dále též systém ochran (Turbine Protection System).**
- **Účelem systému řízení TG je zajištění řízení TG v možných provozních a poruchových stavech.**
- **V řídicím systému TG jsou implementovány řídicí funkce pro:**
  - **regulaci otáček TG**
  - **řízení RVTG v programu RŘV (rychlé řízení ventilů)**
  - **regulaci ostrovního provozu**
  - **realizaci jednotlivých omezovacích regulací**
  - **ruční řízení RVTG operátorem**
  - **regulaci tlaku v HPK**
  - **regulaci činného výkonu TG**
  - **monitorování parametrů provozu TG a generování alarmů**
- **V nezávislých částích ŘS TG jsou implementovány následující funkce:**
  - **řízení zástřiků konců NT dílů TG**
  - **některé ochranné funkce TG - části algoritmů technologických ochran TG (TO TG)**
    - **nekritické z pohledu rychlosti časového zpracování, např. teploty ložisek turbíny a generátoru, teploty a průtoky satorové vody – výstupy těchto algoritmů jsou potom předávány do TPS**
  - **monitorování parametrů provozu TG a generování alarmů**



# Základní hierarchická struktura jednotlivých funkcí a režimů regulace TG





## Režimy regulace TG ETE

- Akčním orgánem regulace jsou dva elektrohydraulické převodníky (EHP) SE11S351 a S352.
  - Tyto na základě velikosti řídicího signálu ze systému regulace vytváří tlak sekundárního oleje v hydraulické části regulace.
  - Tlak sekundárního oleje potom určuje polohu VT regulačních ventilů (VTRV) a prostřednictvím hydraulických měničů tlaku určuje tlak terciálního oleje, který řídí natočení NT záchytných klapek.
- Aktuální provozní režim regulace TG závisí na provozním stavu TG a může být ovlivňován
  - povely z organizátoru řízení (Control Coordinator - CC)
  - povely operátora
  - povely z Turbostepu
- Stejně tak žádané (resp. cílové) hodnoty regulovaných parametrů a trendy jejich změn jsou generovány
  - na základě zásahů operátora
  - nebo na základě signálů z Turbostepu nebo OŘ



## Zadání cvičení

- **Hlavní parametry bloku (výkon zdroje, výkon TG, tlak v HPK, otáčky TG/frekvence ES)**
  - **Vytvořte schéma hlavních technologických parametrů a jejich odezvu na změnu tepelné bilance bloku.**
- **Odezva bloku na změnu frekvence ES**
  - **s nepřípojeným korektorem frekvence**
  - **s připojeným korektorem frekvence**