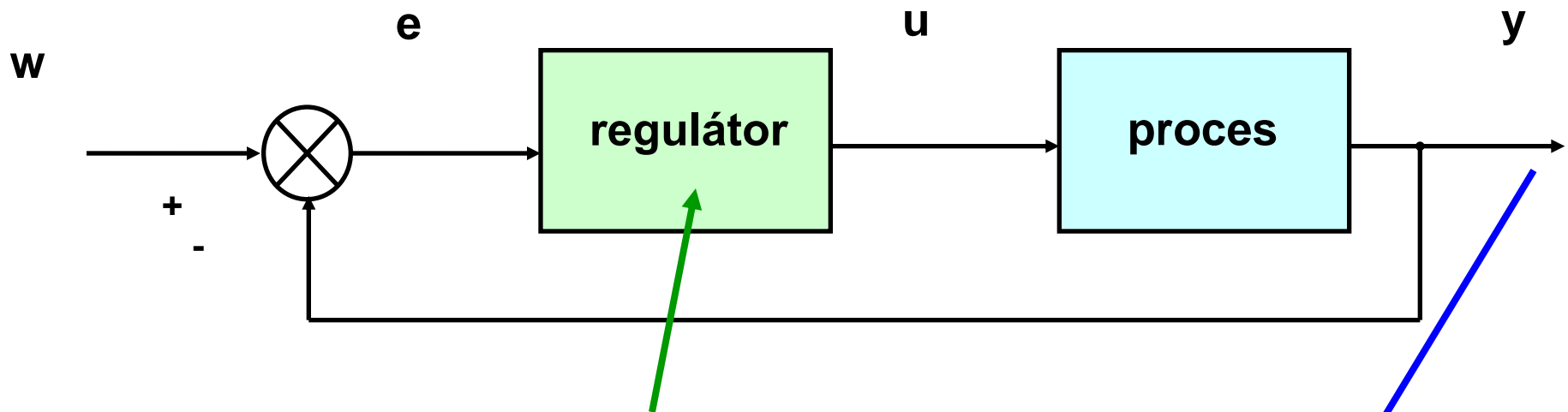


2 Návrh regulačních obvodov použitím evolučních algoritmov (genetického algoritmu)

2.1 Princíp

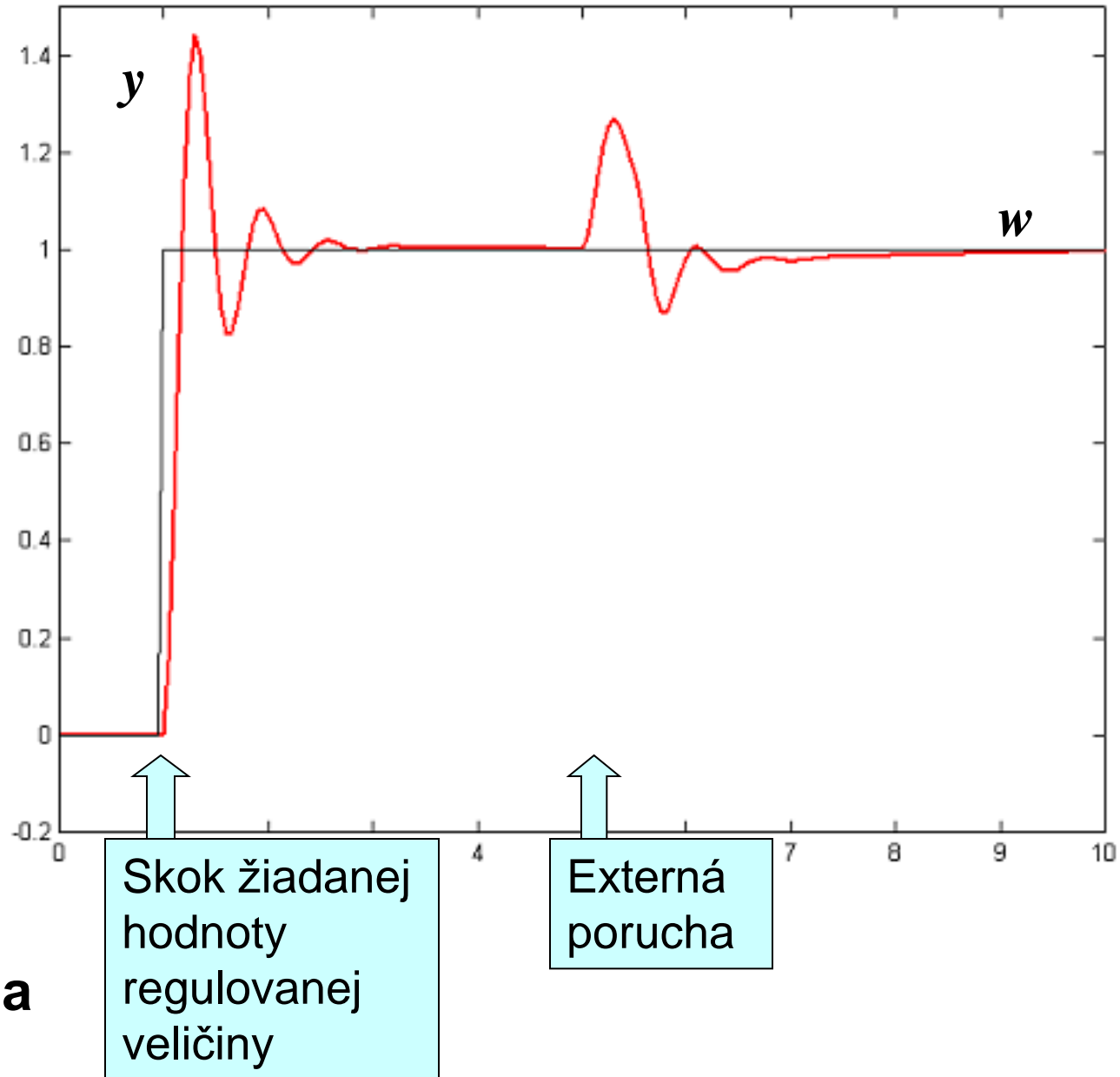
Návrh / optimalizácia parametrov regulačného obvodu (dynamického systému)



Ret'azec: $r = [p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n]$

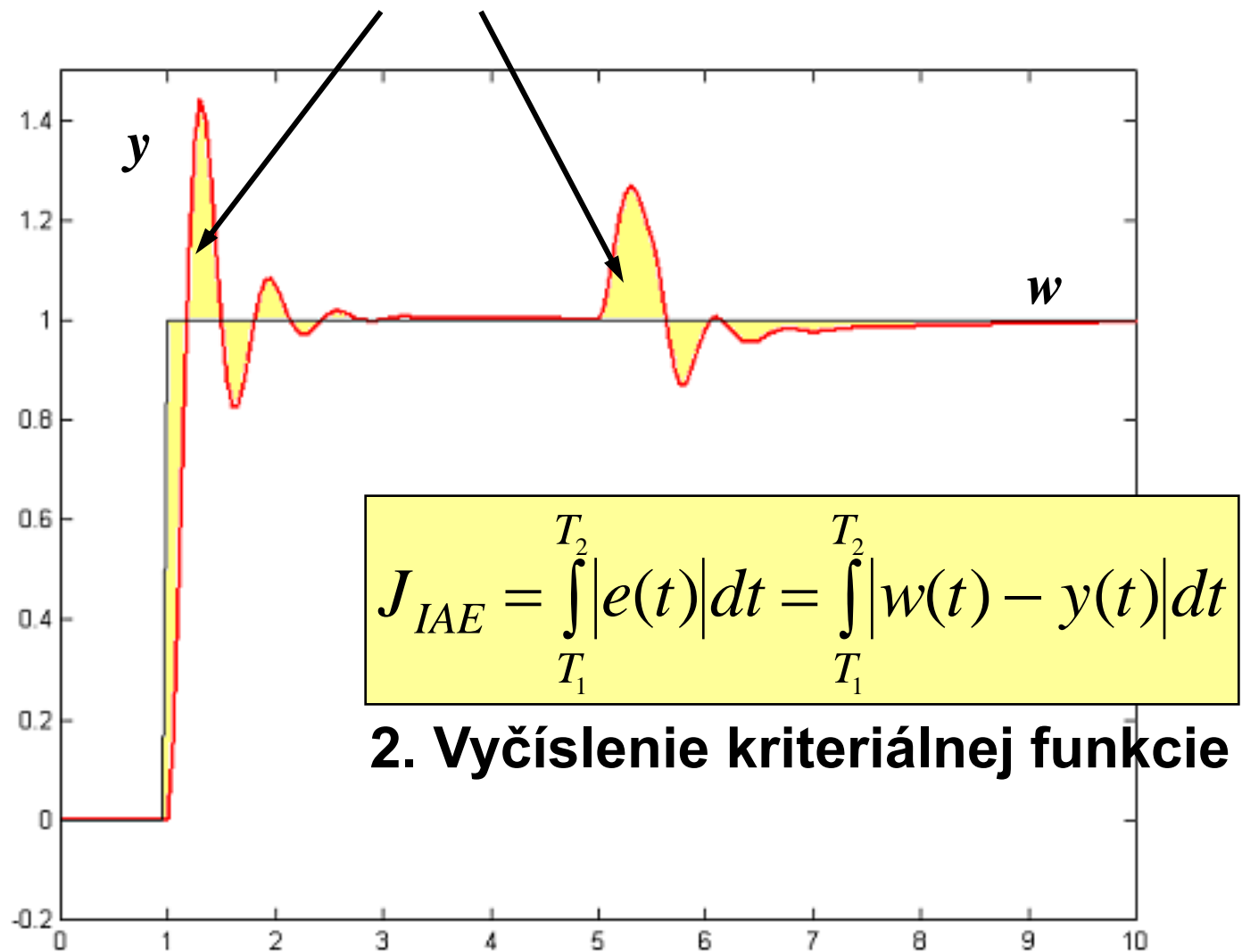
Fitness f.: číslicová simulácia dynamického systému + vyčíslenie vhodného (integrálneho) kritéria

Vyhodnotenie fitness – 2 kroky:

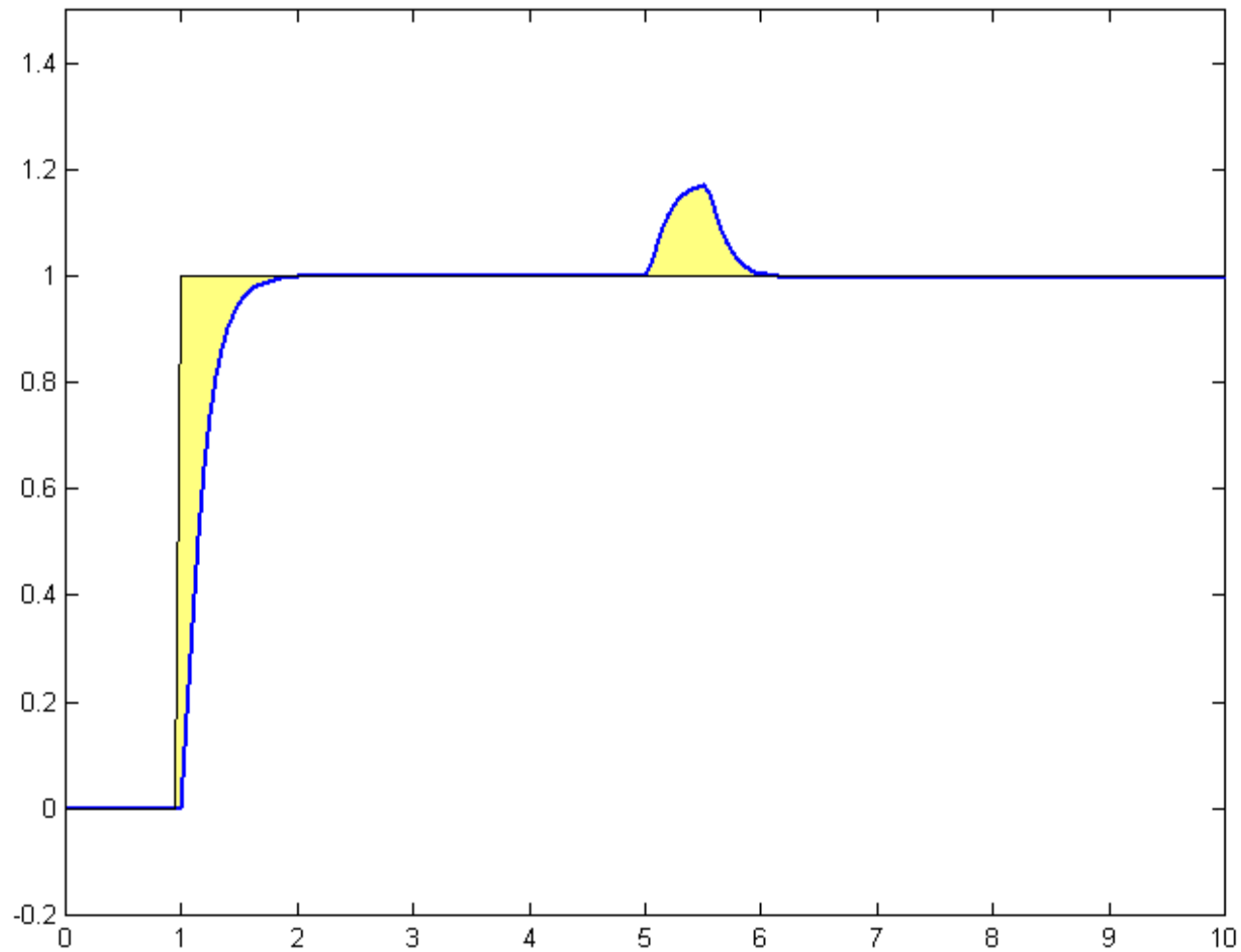


1.simulácia

Ciel': minimalizácia plochy



2. Vyčíslenie kritériálnej funkcie



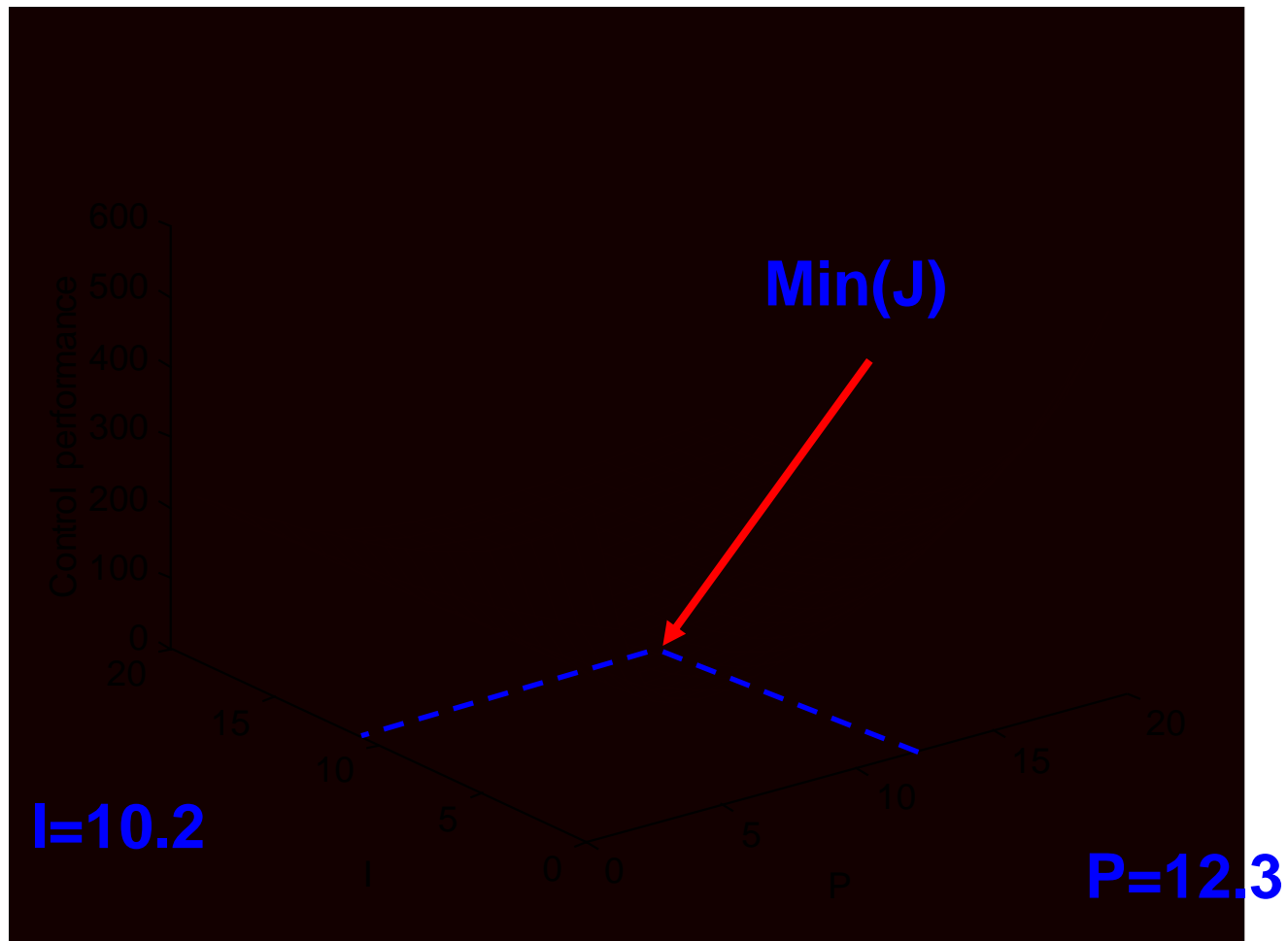
Optimálne navrhnutý regulátor

PID regulátor : $R_{PID}(s) = P + I/s + Ds$

Ret'azec : $r = [P, I, D]$

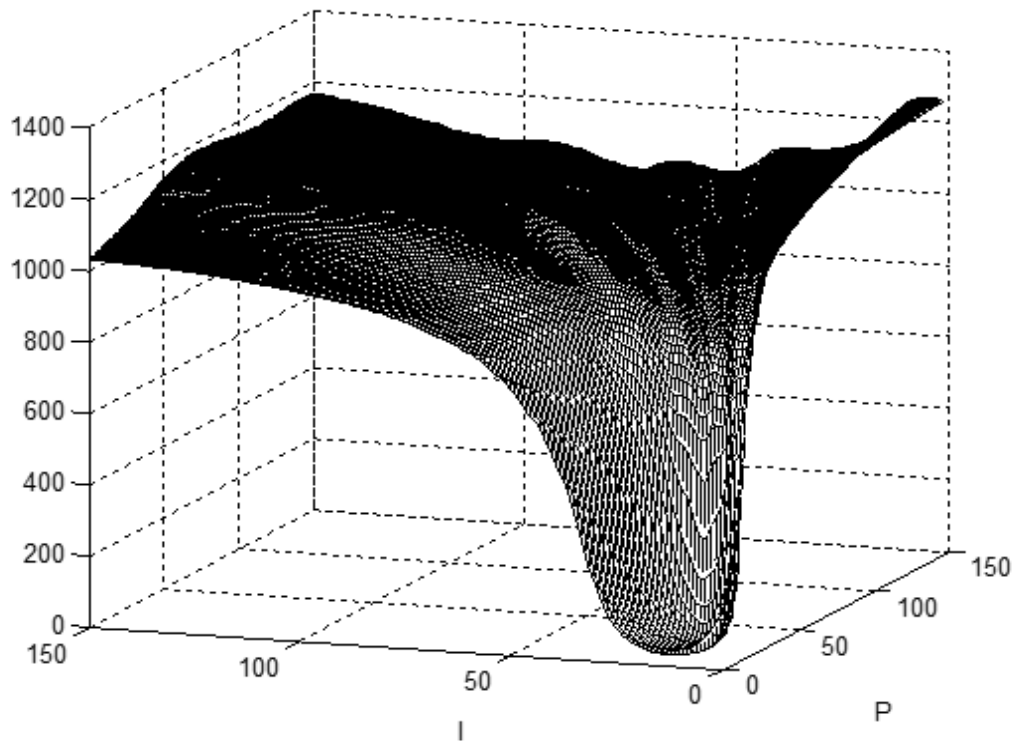
PI regulátor : $R_{PI}(s) = P + I/s$

Ret'azec : $r = [P, I]$

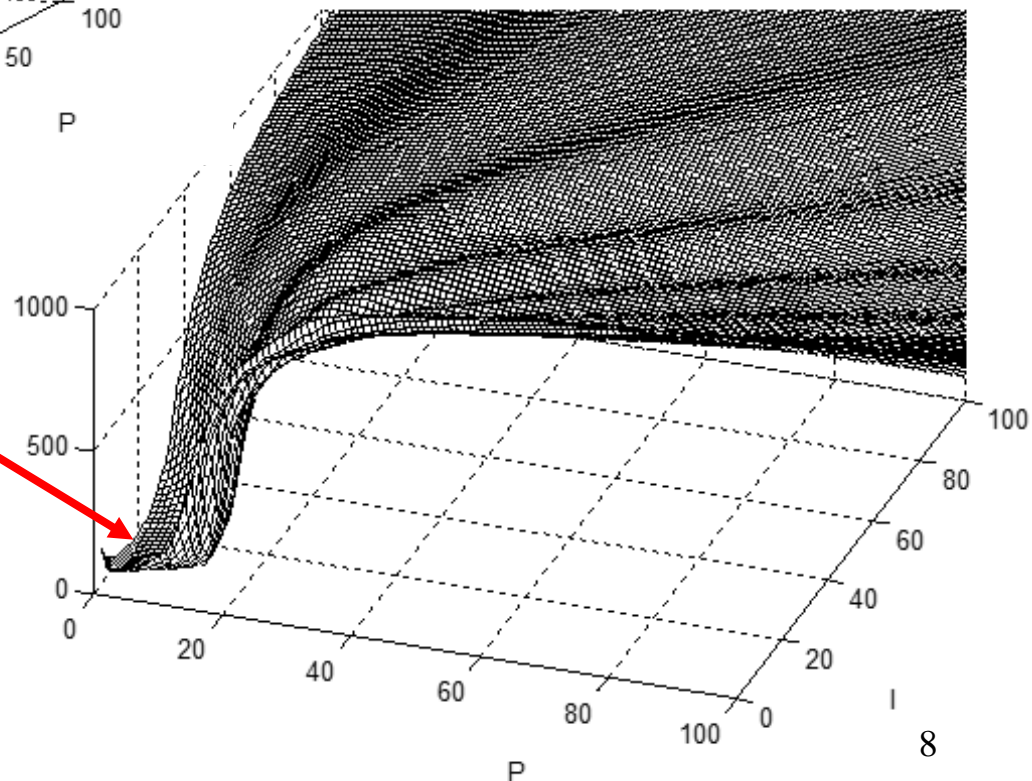


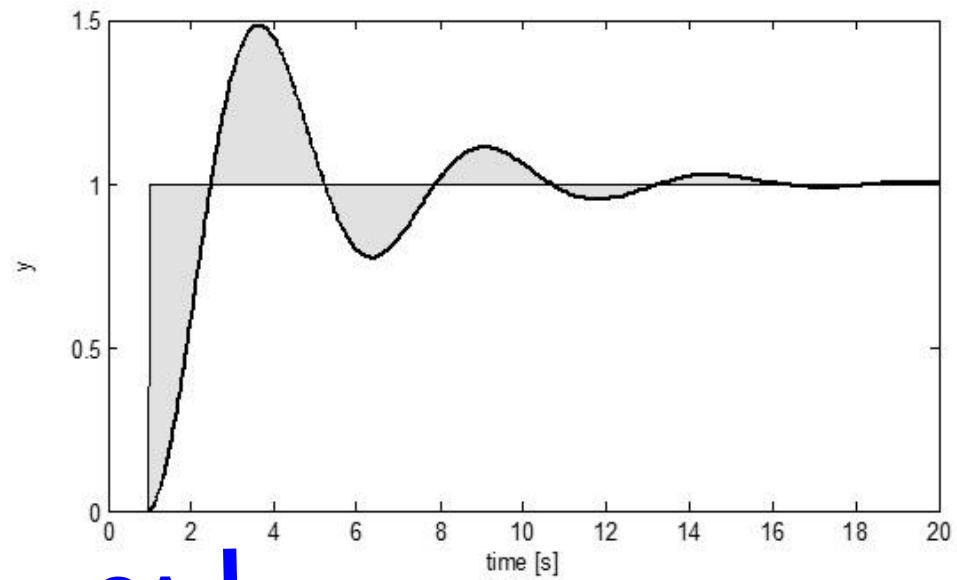
Plocha kritéria kvality regulácie IAE uzavretého regulačného obvodu s PI regulátorom

Aké sú
optimálne
parametre
regulátora?

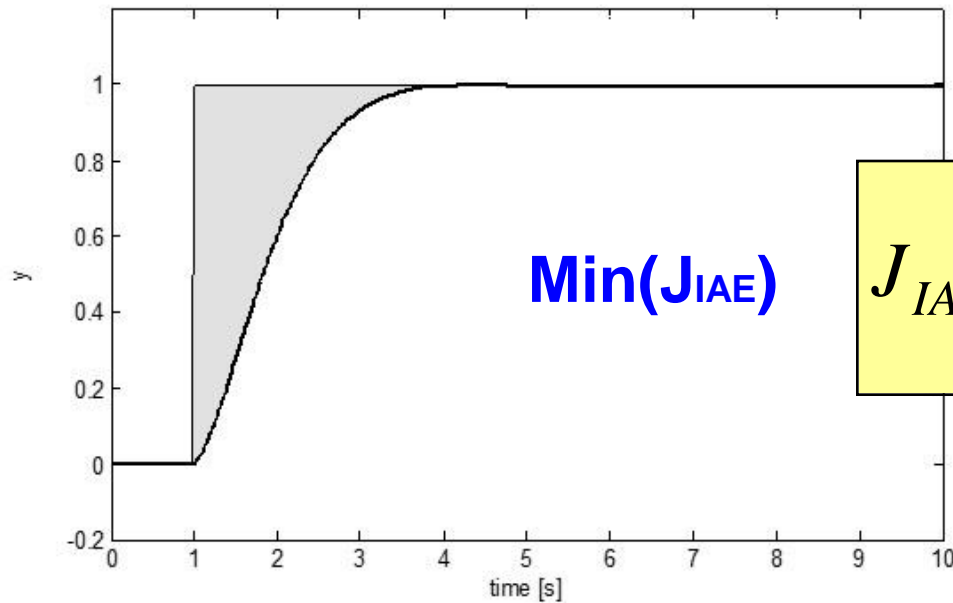


$\text{Min}(J)$



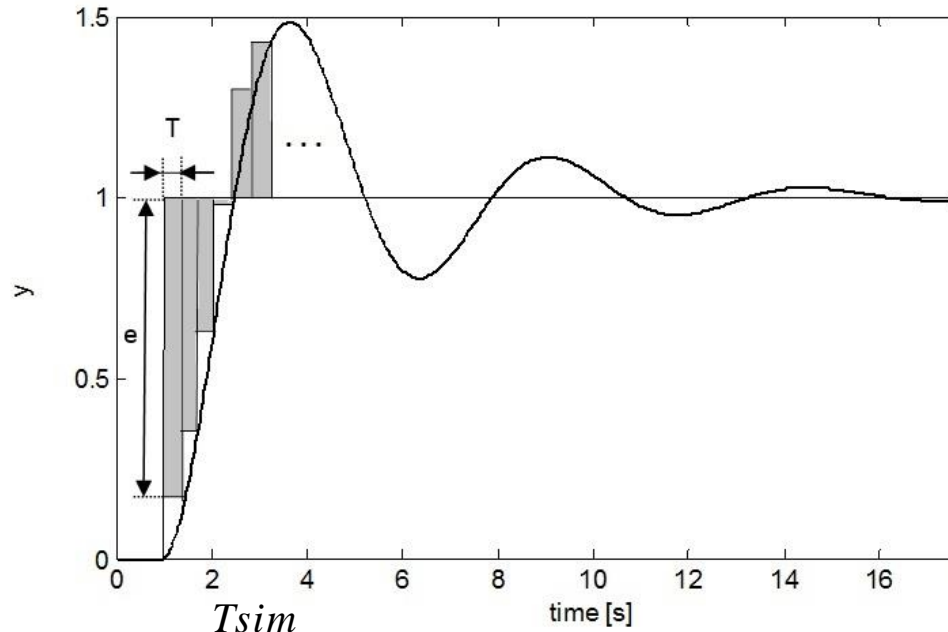


Optimalizácia - GA ↓



$$J_{IAE} = \int_{T_1}^{T_2} |e(t)| dt = \int_{T_1}^{T_2} |w(t) - y(t)| dt$$

Výpočet kritériálnej funkcie (fitness) v Matlabe



1. Simulácia regulačného obvodu v Simulinku:
`sim('meno_schemy')`
 Pevný krok simulácie T (fixed step) !

2. Vyhodnotenie kritéria kvality regulácie
 $J = \text{sum}(\text{abs}(e))$ - Fitness

e – regulačná odchýlka v schéme v Simulinku

$$J = \int_0^{T_{sim}} |e| dt \rightarrow \min$$

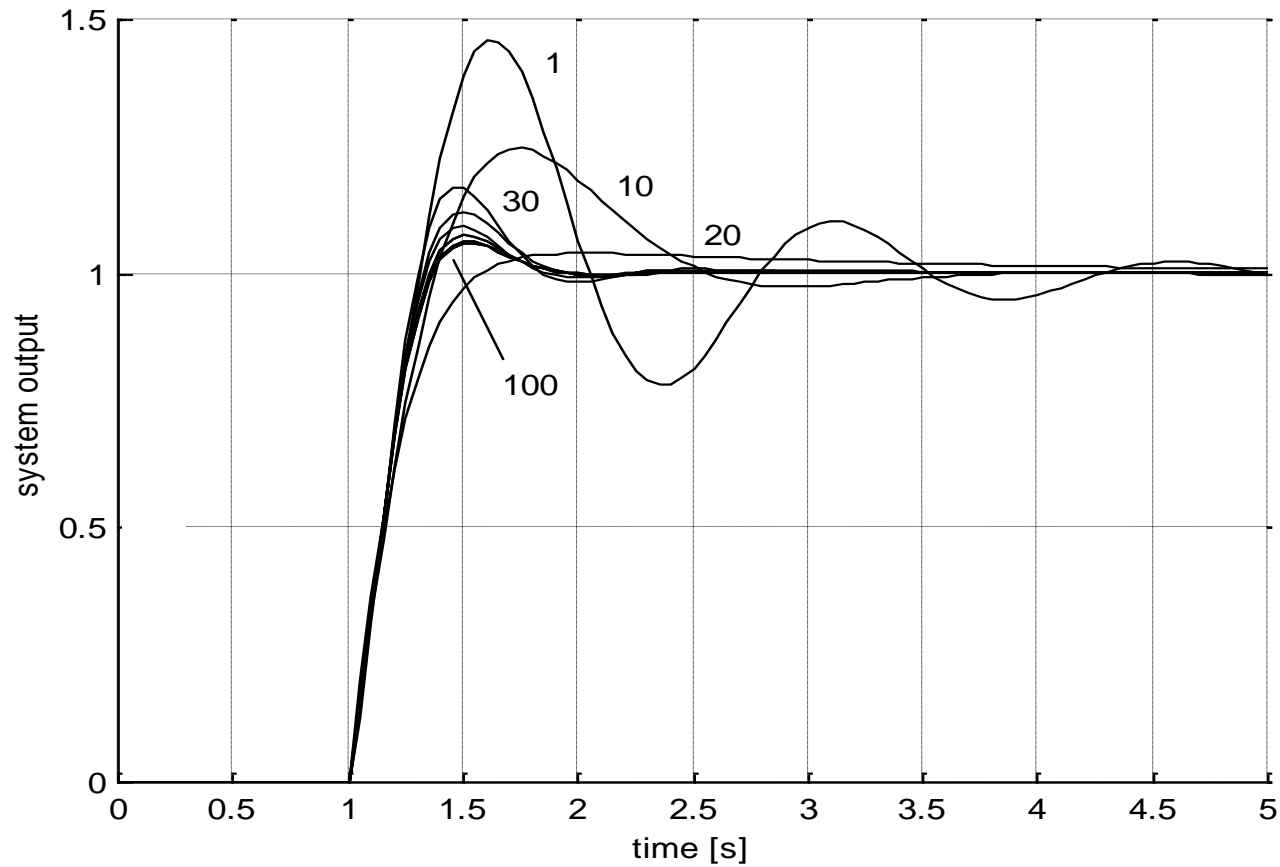
$$J = \sum_{k=1}^{N_{sim}} T |e_k| = T \sum_{k=1}^{N_{sim}} |e_k| \rightarrow \sum_{k=1}^{N_{sim}} |e_k| \rightarrow \min \quad T = \text{konšt.}$$

$$J = \sum_{k=1}^{N_{sim}} |e_k| \rightarrow J = \text{sum}(\text{abs}(e))$$

$$T \neq \text{konšt.}$$

$$J = \text{sum}(T \cdot \text{abs}(e))$$

Evolúcia PID regulátora



$$J_{IAE} = \int_0^{T_{sim}} |e(t)| dt$$

Príklady rôznych kritériálnych funkcií

$$1. \quad J = \int_0^T (\alpha|e| + \beta|e'| + \gamma|e''|)dt$$

Tlmenie kmitania

2. $J = \alpha\eta + (1-\alpha)t_r$

3. $J_{ISE} = \int_0^T e^2(t) dt$

4. $J_{ITAE} = \int_0^T t|e(t)|dt$

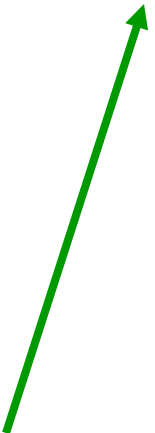
5. $J = \int_0^T (y - y_r)^2 dt$

6.
$$J = \sum_{k=1}^{N_{sim}} (|e_k| + a|de_k| + b|u_k| + c|du_k|)$$

**Tlmenie kmitania
(preregulovania)**



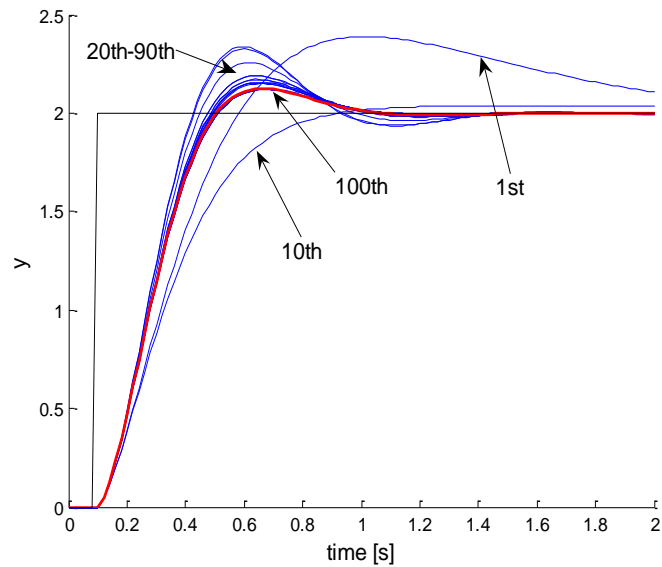
**Tlmenie veľkosti
akčnej veličiny**



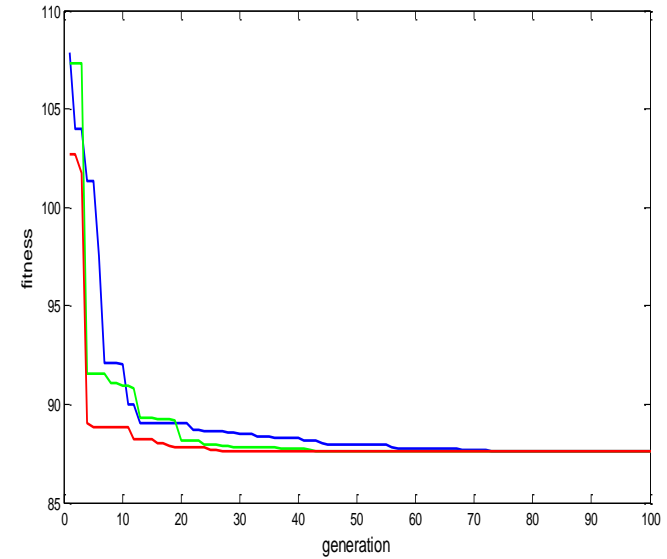
**Tlmenie zmien
akčnej veličiny**



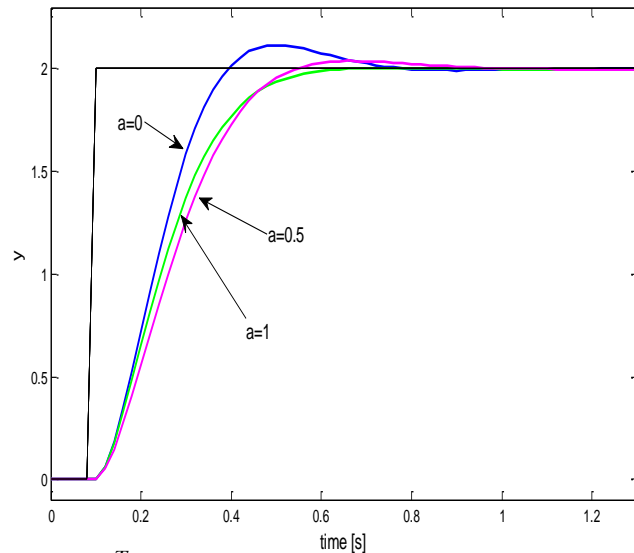
Evolúcia PID regulátora



3 spustenia GA



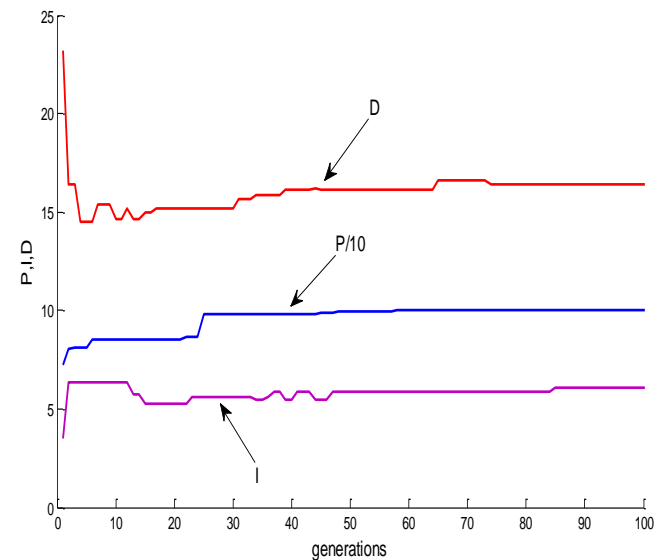
Rôzne váhy krit.f.

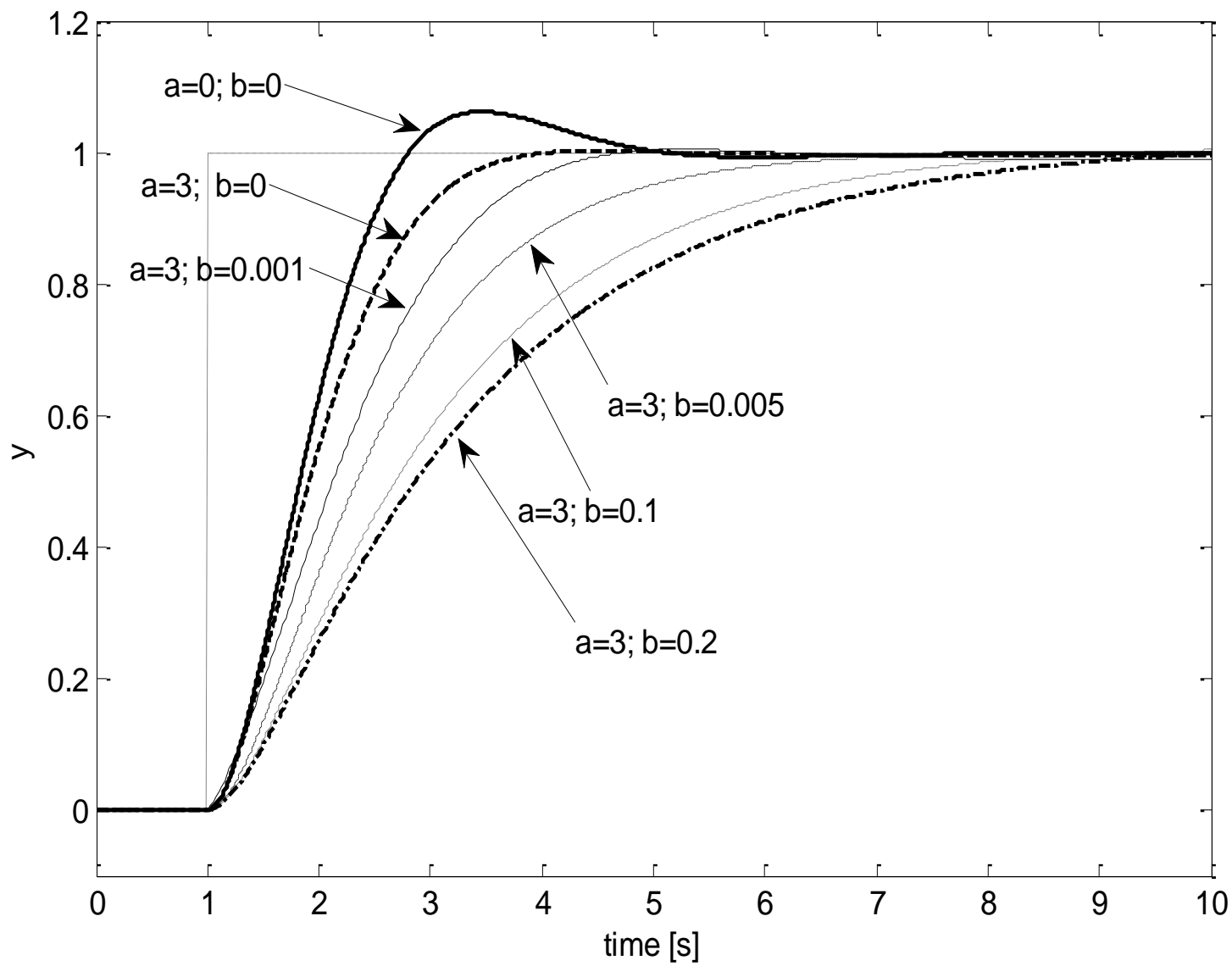


$$J = \int_0^T (|e(t)| + a|e'(t)| + b|u(t)| + c|u'(t)|) dt$$

$$b = 0; c = 0$$

Evolúcia parametrov reg.





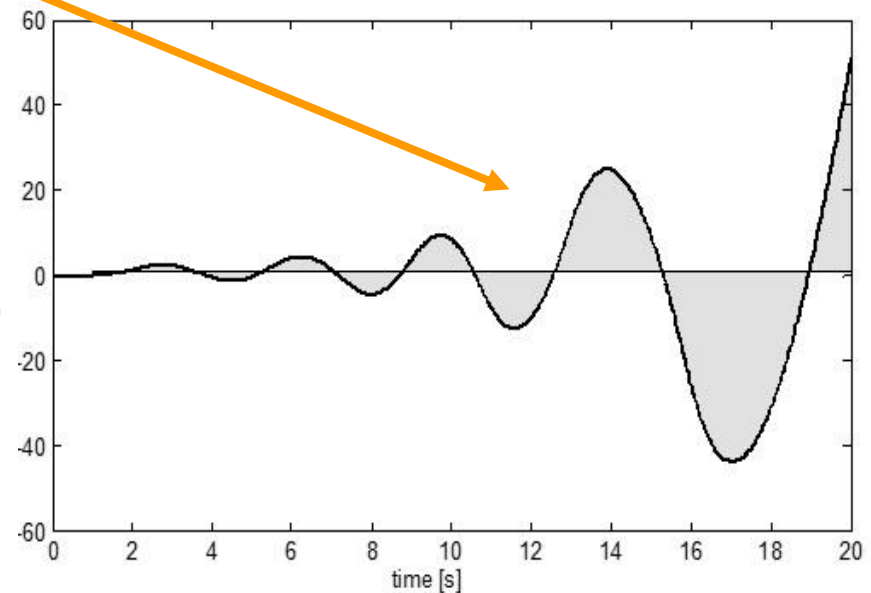
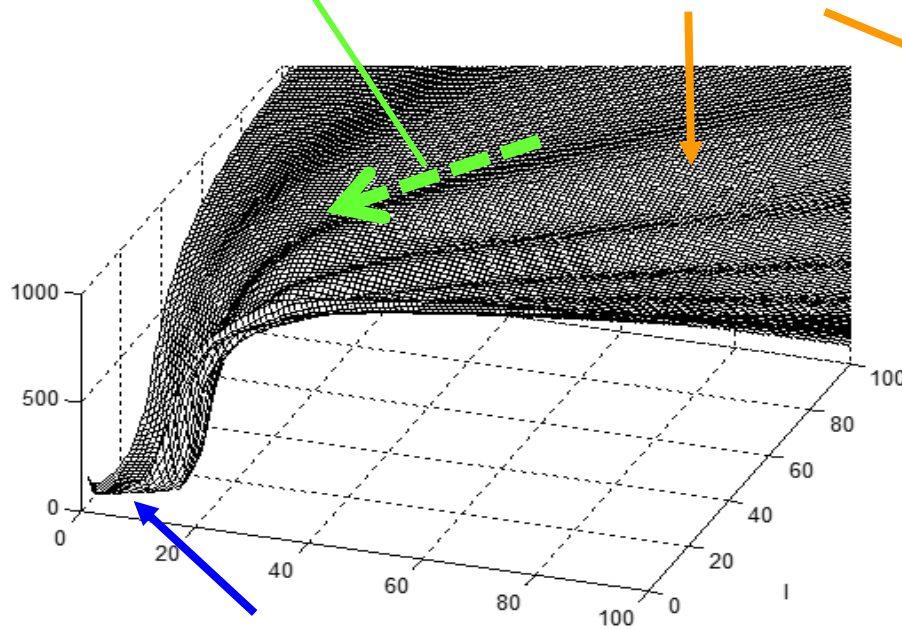
Kritérium 6, $c=0$

Stabilita regulátora

Nestabilné koeficienty regulátora zhoršujú kvalitu regulácie a teda aj hodnotu fitness.

Algoritmus (GA) tlačí koeficienty do stabilných regiónov.

Nestabilné koeficienty regulátora



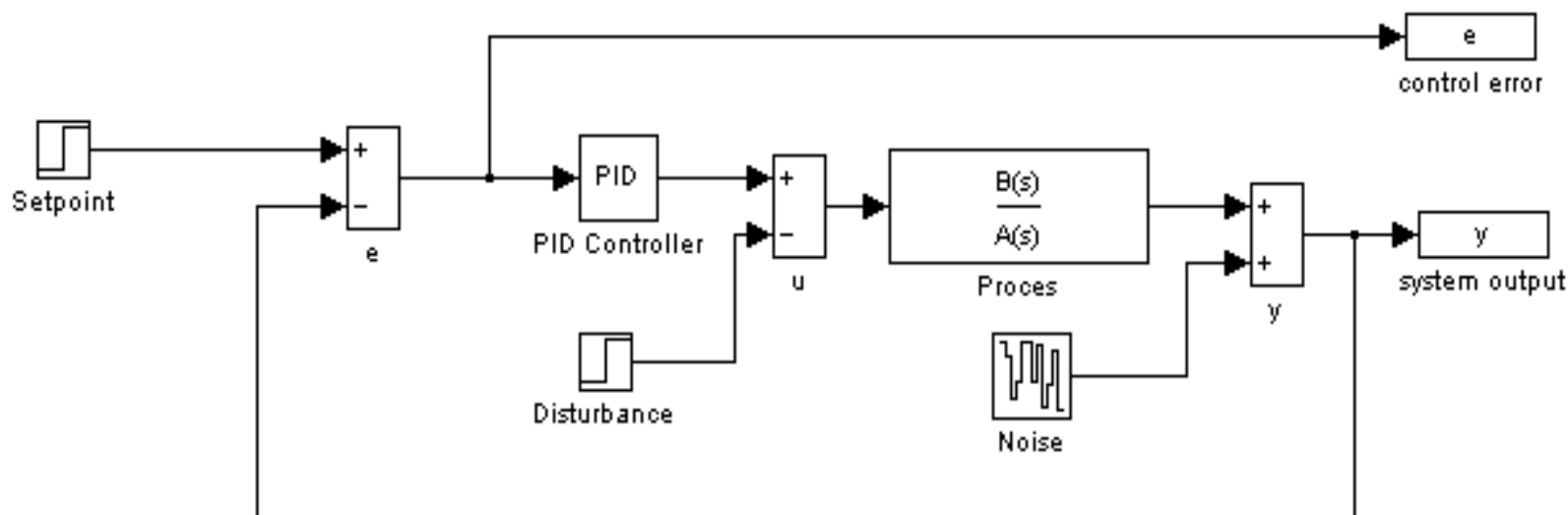
$\text{Min}(J_{IAE})$ – kvalita+stabilita

Stabilita je implicitná vlastnosť metódy návrhu pomocou EA / GA

Možné dodatočné rozšírenia účel.f.

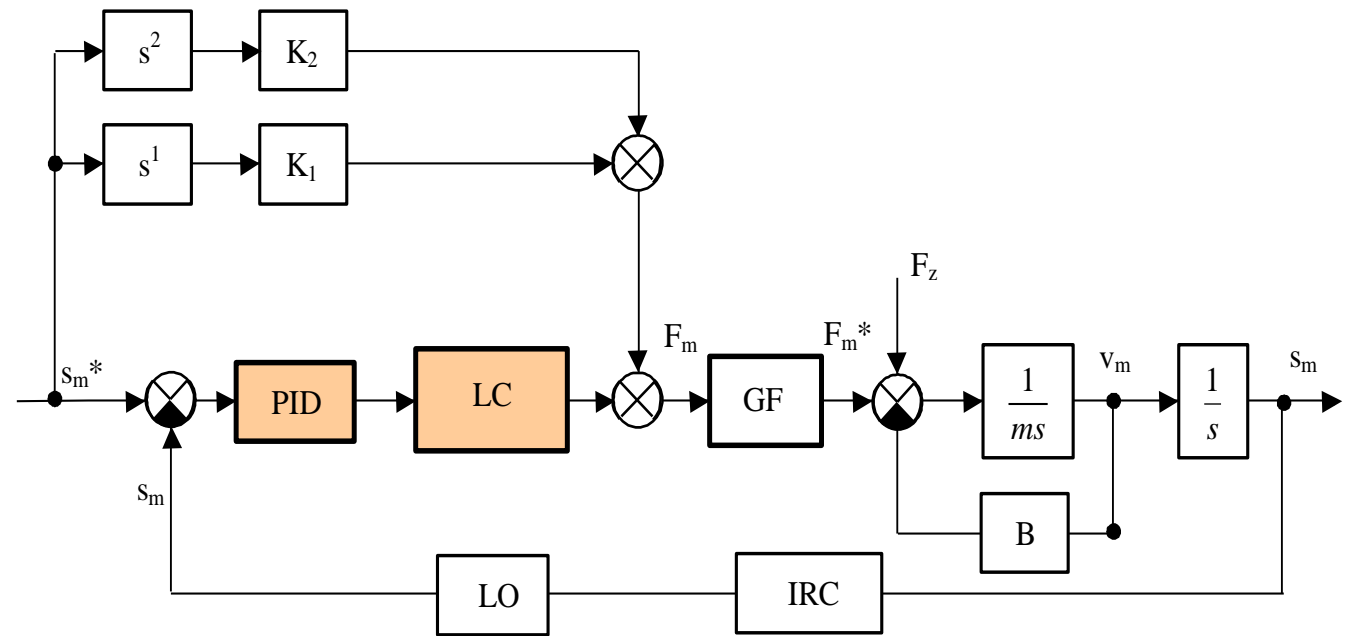
- **obmedzenie počtu prekmitov (inflexných bodov)rech. char.**
- **dodržanie požadovanej amplitúdovej a fázovej rezervy v stabilite (alebo ich maximalizácia)**
- **test stability ...**

Objekt optimalizácie – ľubovoľný regulačný obvod, ľubovoľný typ regulátora (nonlinearity, MIMO, poruchy, šum ... všetko čo vieme odsimulovať)



$$J_{IAE} = \int_{T_1}^{T_2} |e(t)| dt = \int_{T_1}^{T_2} |w(t) - y(t)| dt$$

Návrh riadenia polohového systému s PID regulátorom, lead kompenzátorom a Luenbergerovým pozorovateľom



chromozóm:

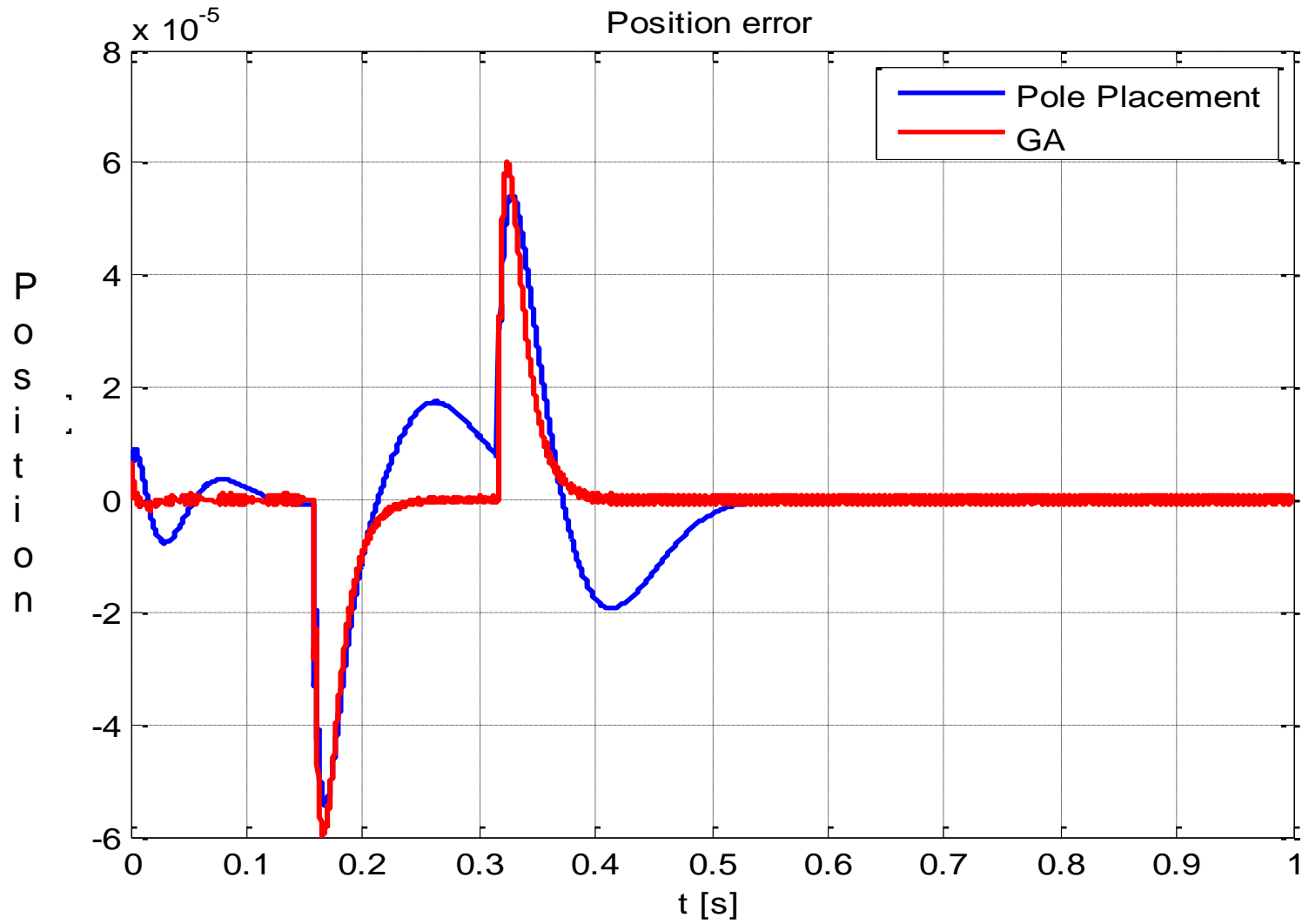
$$ch = \{P, I, D, a_p, a_0, b_0\}$$

Polohový systém s PID regulátorom, lead kompenzátorom (LC), Luenbergerovým pozorovateľom (LO), generátor sily (GF).

$$Fitness = \int_0^T (\alpha |e(t)| + \beta |e'(t)| + \gamma |e''(t)|) dt$$

$$\alpha=1, \beta=0.5, \gamma=0$$

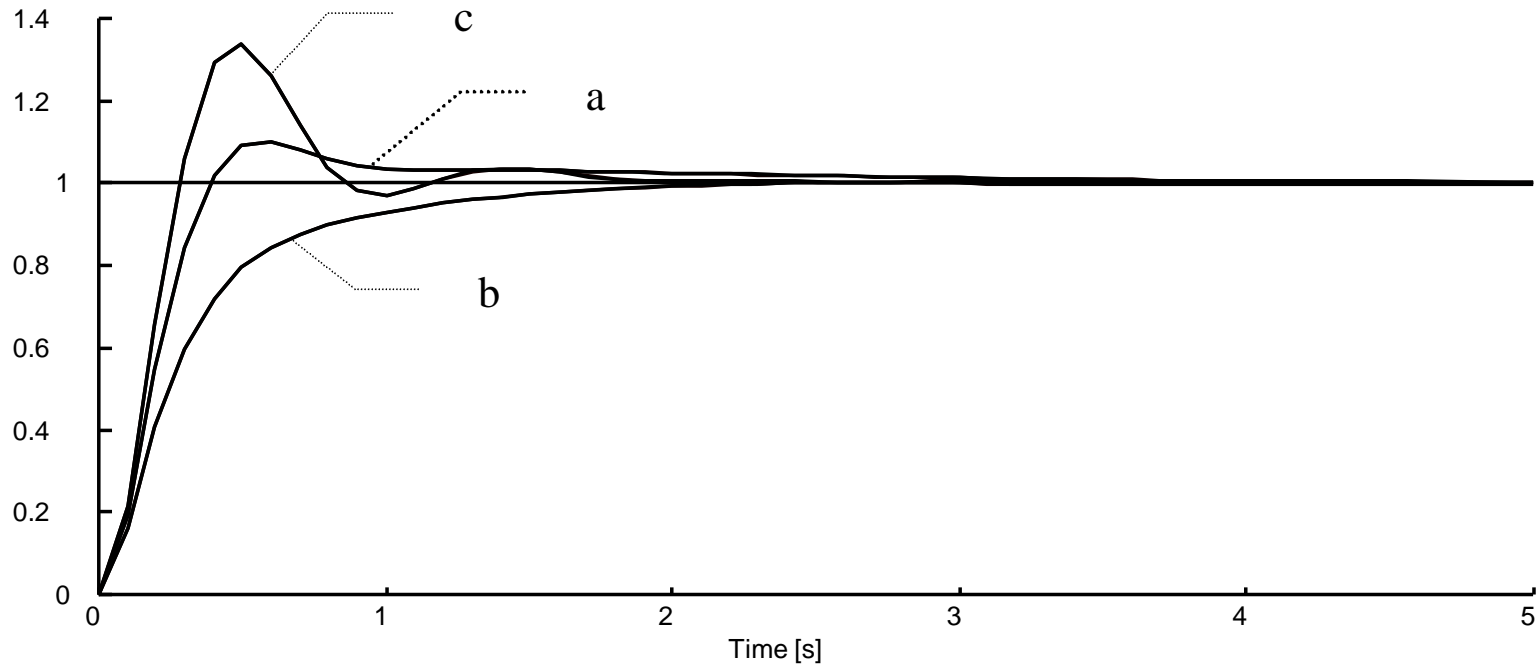
$$LC = \frac{a_1 z + a_0}{z + b_0}$$



	P	I	D	a₁	a₂	B₂
Pole-placement	4737.4	99220	75.3882	20	-19.8425	-0.8425
GA	45100	4.8020	780.2274	1.5315	-1.4123	-0.4219

2.2 Návrh robustných regulátorov

Zvýšenie robustnosti riešenia

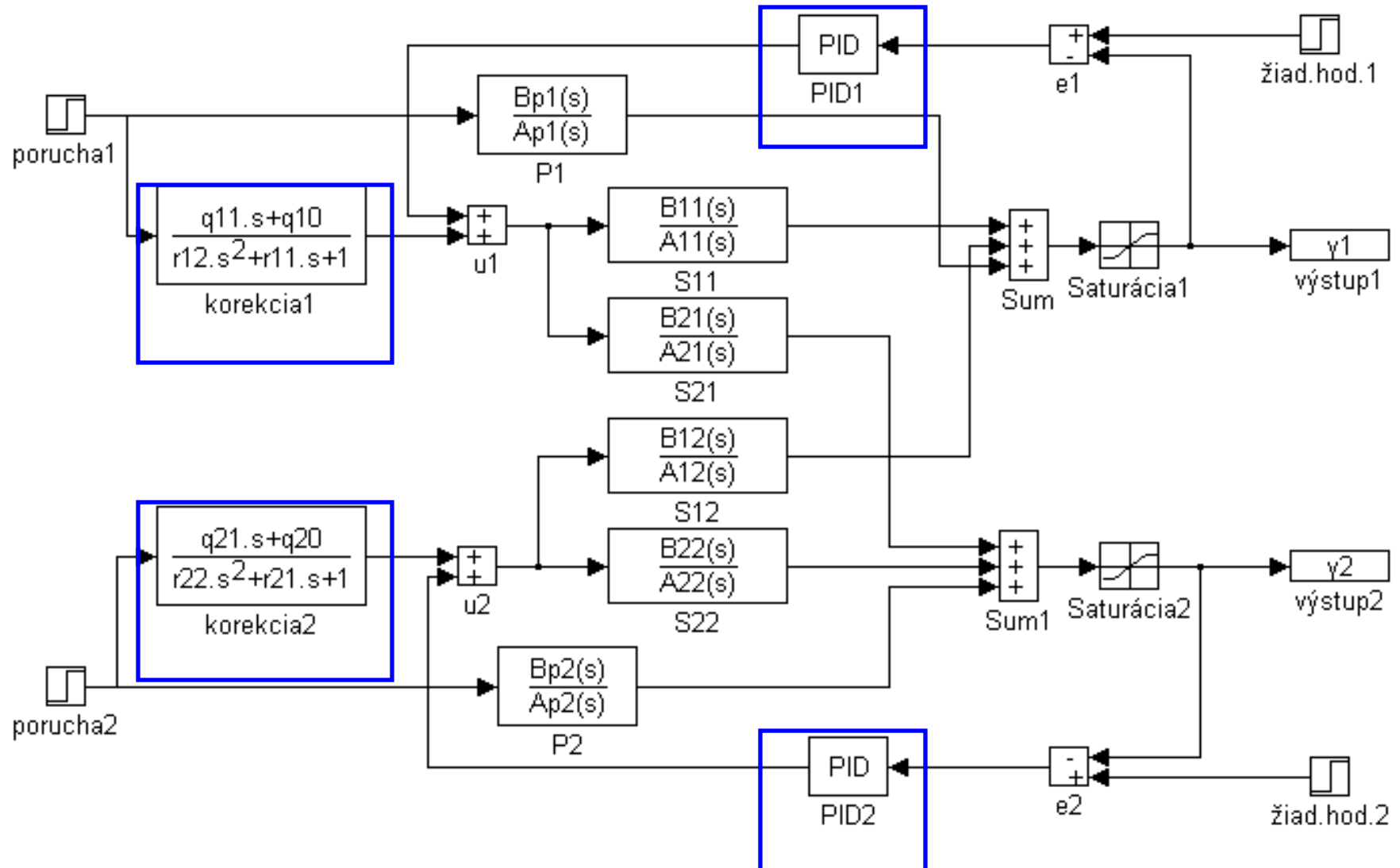


$$J = \int_0^T |e_a| dt + \int_0^T |e_b| dt + \int_0^T |e_c| dt$$

viac prac. bodov

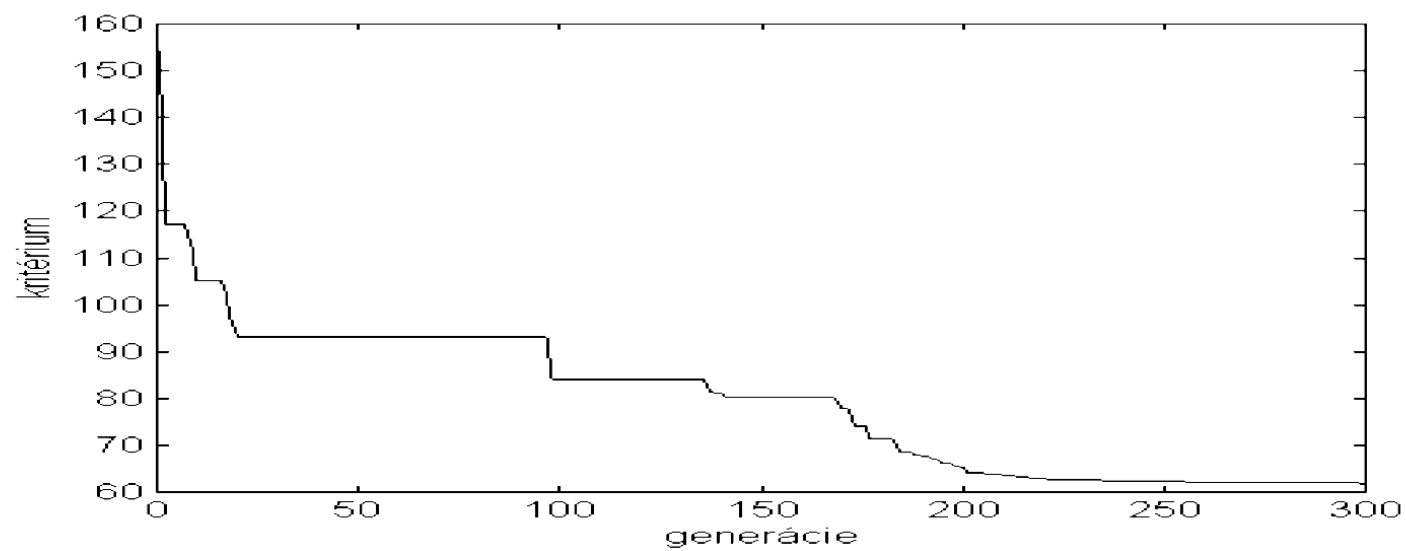
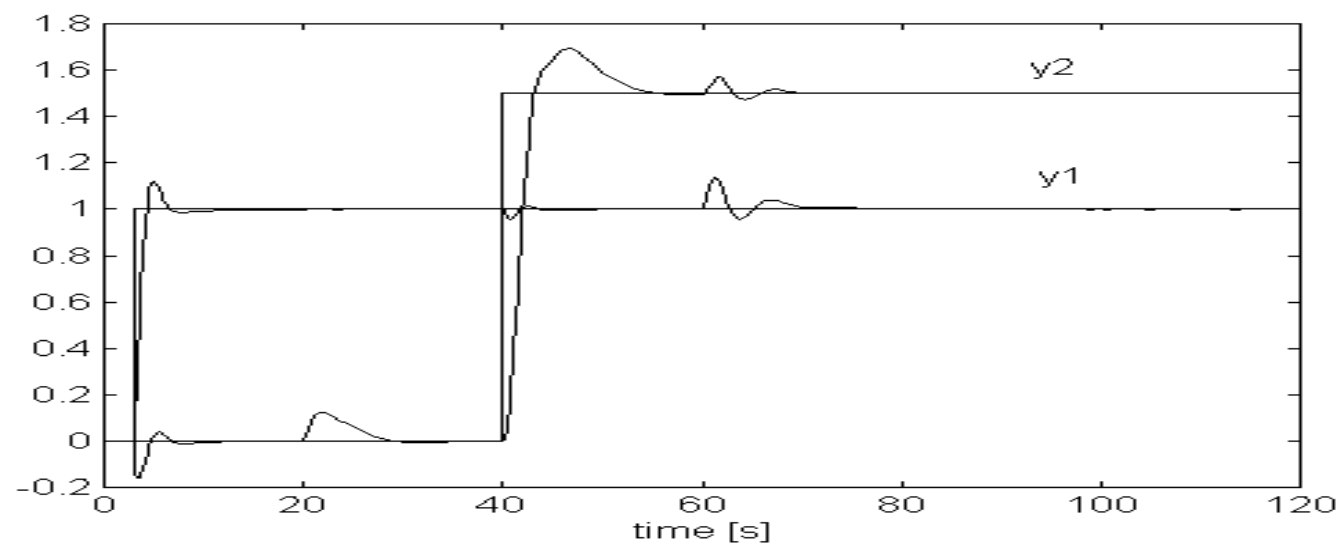
Zahrnutie najnepriaznivejších porúch a situácií do evolúcie

2.3 Návrh riadenia MIMO systémov



$$\mathbf{r} = [P_1, l_1, D_1, \mathbf{q}_{11}, \mathbf{q}_{10}, r_{12}, r_{11}, P_2, l_2, D_2, \mathbf{q}_{21}, \mathbf{q}_{20}, r_{22}, r_{21}]$$

$$J = \int_0^T (|e_1| + 2|e'_1|)dt + \int_0^T (|e_2| + 2|e'_2|)dt$$



2.4 Identifikácia dynamických systémov

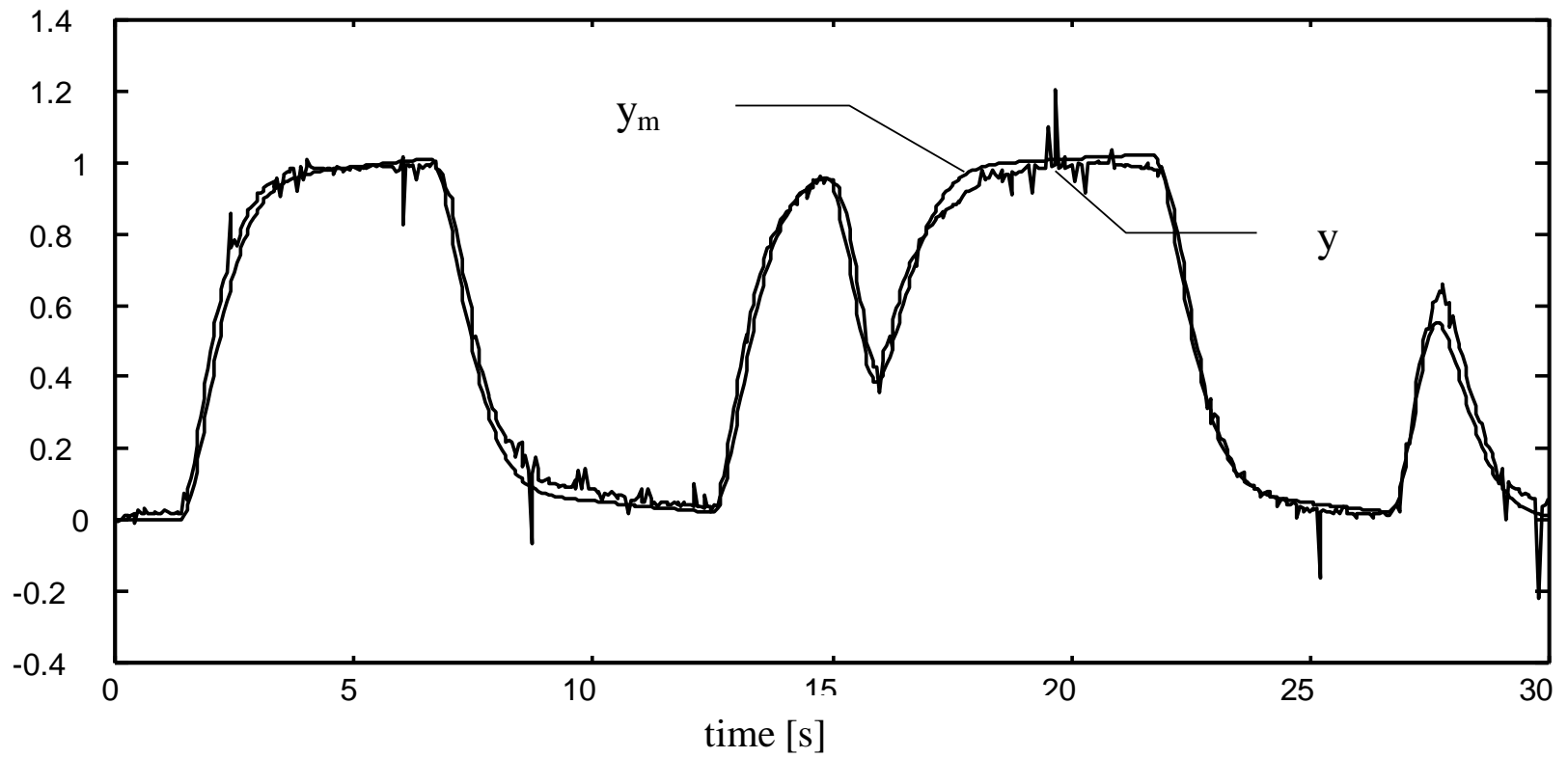
$$S(s)=B(s)/A(s)$$

$$r = [a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m]$$

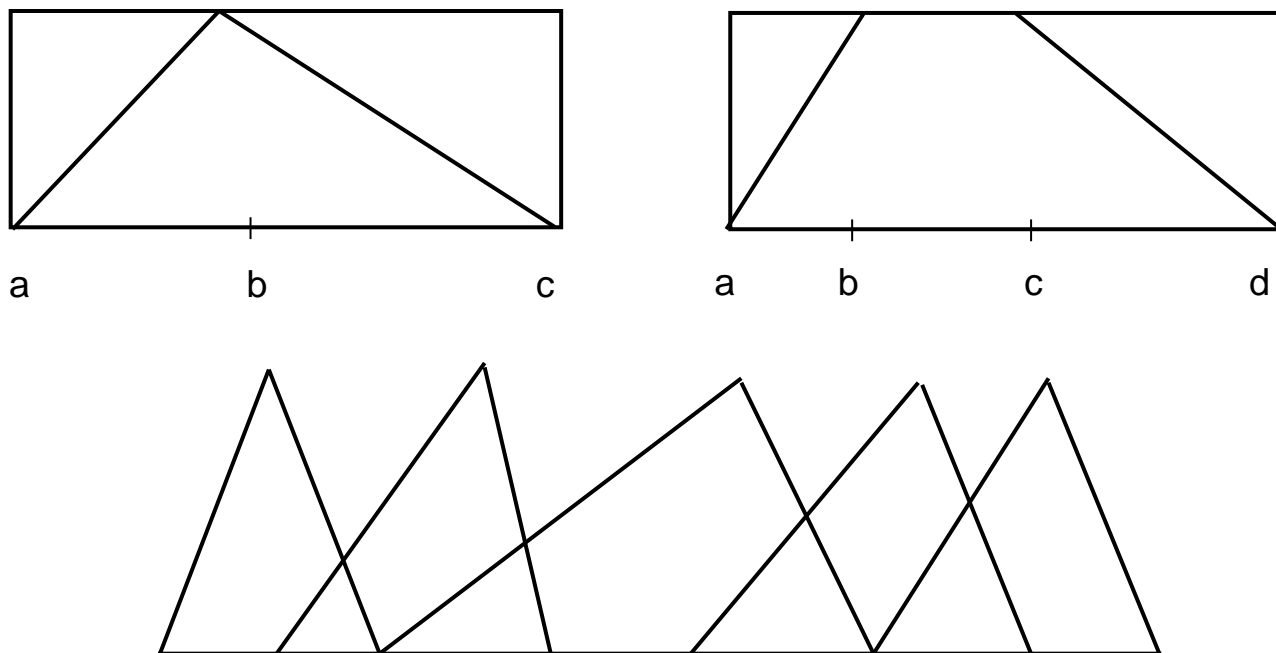
$$J = \int_0^T (y - y_m)^2 dt$$

Pre MIMO systém

$$J = \int_0^T \sum_{i=1}^N (y_i - y_{m,i})^2 dt$$



Návrh / optimalizácia funkcií príslušností fuzzy systému



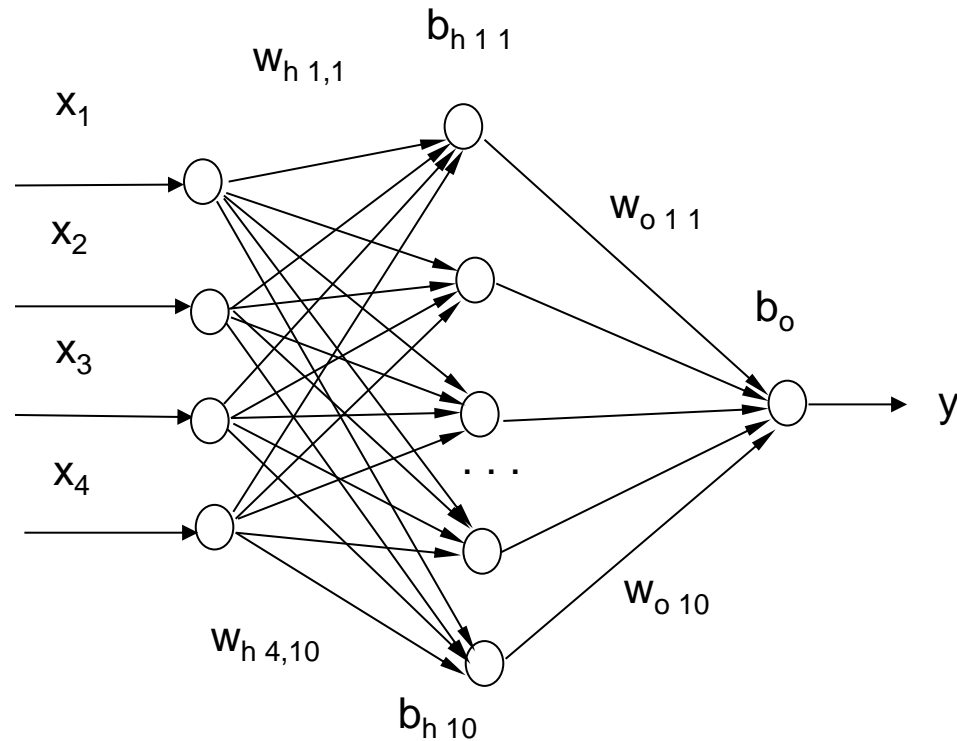
Návrh/optimalizácia prvkov bázy pravidiel

de/e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NS	ZE	ZE	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	ZE	ZE	PS	PB
PS	ZE	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PB	PB

Reťazec: prvky FS

Fitness: stredná kvadratická chyba, IAE, ...
(podľa aplikácie)

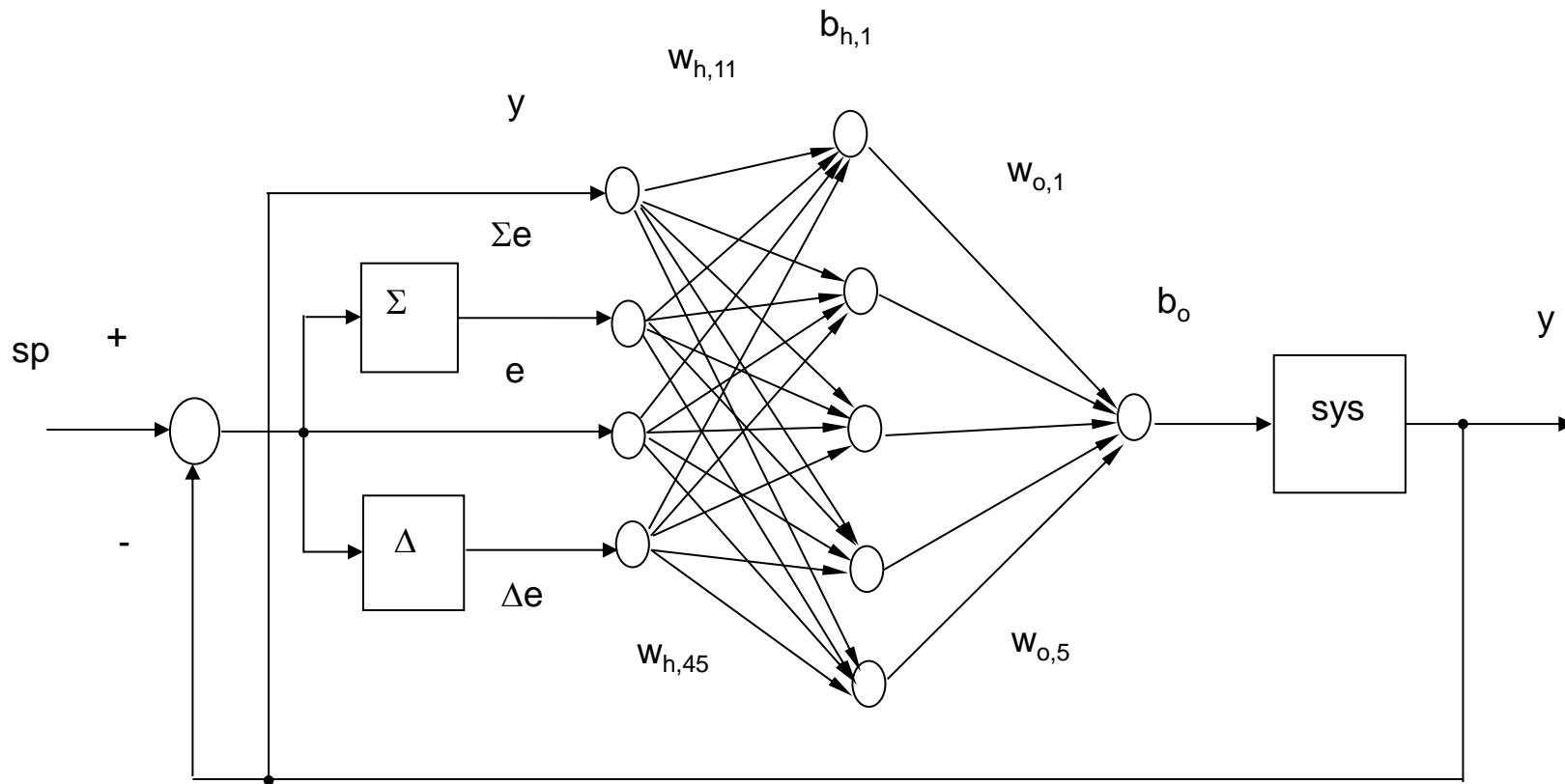
Návrh a optimalizácia systémov s umelými neurónovými sieťami



Reťazec: prvky UNS

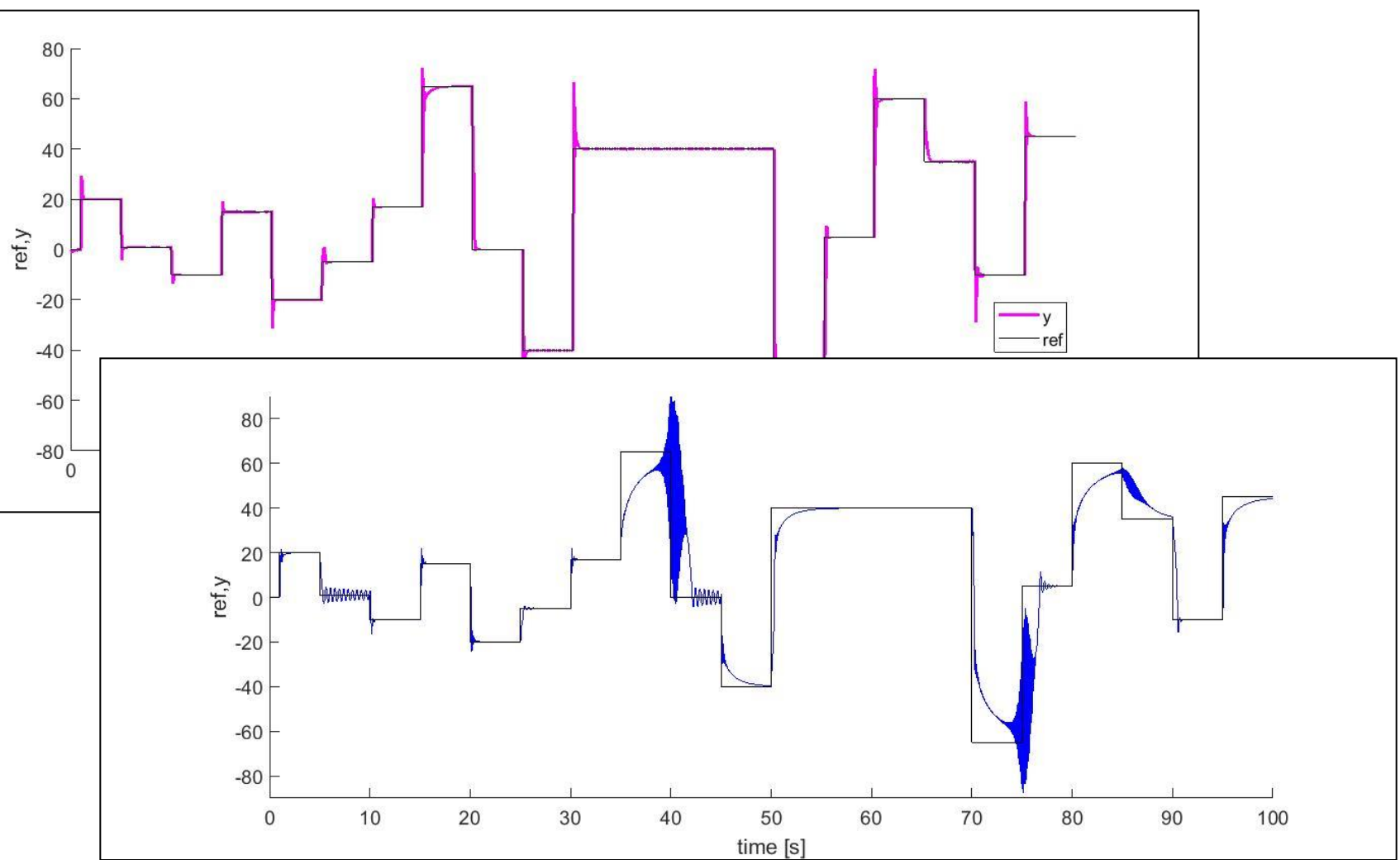
Fitness: stredná kvadratická chyba, ...

Neuro regulátor



Reťazec: prvky UNS

Fitness: IAE, ...



Priebeh regulácie nelineárneho systému pomocou neuro-PID regulátora a konvenčného PID regulátora