

Technická univerzita v Košiciach
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a umelej inteligencie

Návrh fuzzy regulátora
(Zadanie predmetu Základy fuzzy systémov)

Text zadania

1. Použijete ľubovoľnú metódu na návrh klasického regulátora (PI, PD, PID) s odozvou na jednotkový skok. Popíšete túto metódu s uvedením medzivýsledkov. Nejaké samonastavovacie algoritmy z Matlabu a pod. neuznávam. Podmienky sú trvalá regulačná odchýlka $\pm 5\%$, sústava sa musí uregulovať do 5 sekúnd. Prípustný je 1. prekmit s maximálnou amplitúdou 10% voči žiadanej hodnote.
2. Navrhnete Mamdaniho a aj TSK fuzzy regulátor, ktorý bude lepší ako klasický. Urobíte návrh tej istej bázy znalostí na jednotkový ako aj sínusový priebeh, u ktorého si vhodne zvolíte periódu.
3. Použitie normalizačných (škálovacích) koeficientov je zakázané.
4. Môžete použiť ľubovoľný program – FlexControl, Matlab a pod.
5. Zadanie musí obsahovať záver, v ktorom porovnáte jednotlivé návrhy regulátorov a vyhodnotíte výsledky.

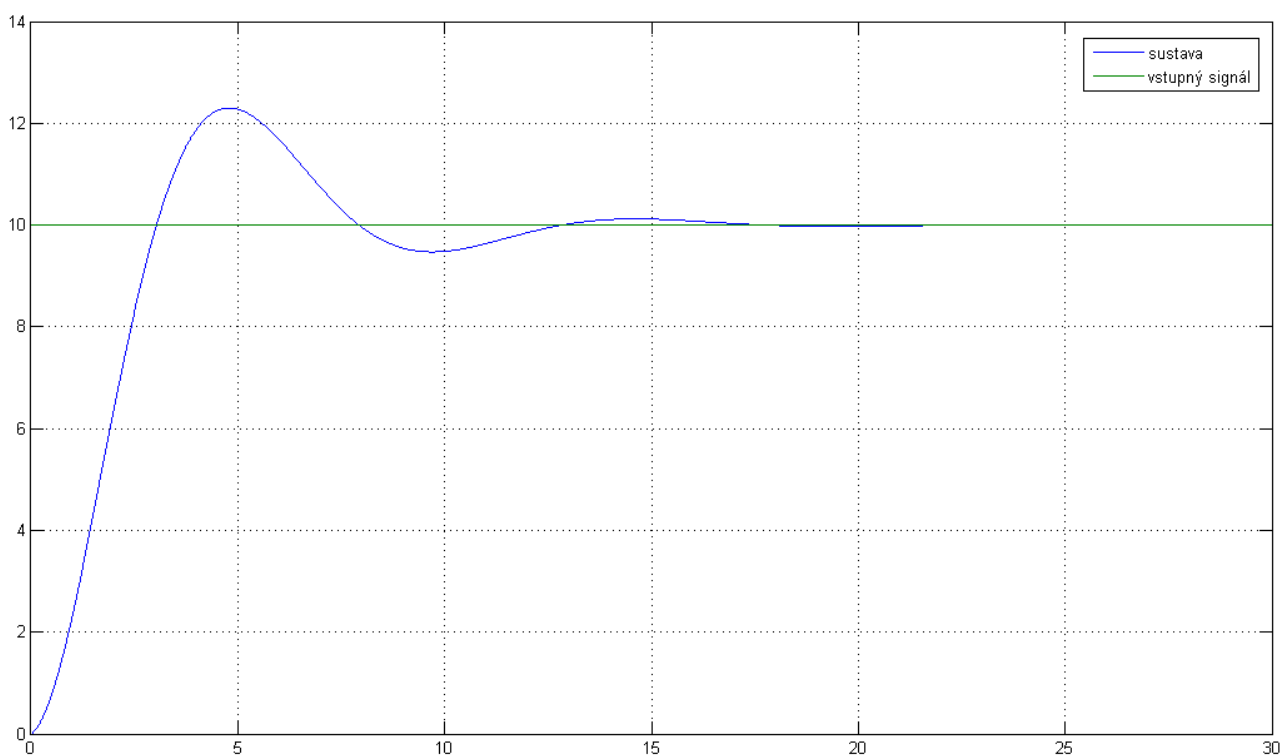
Dodefinovanie zadania

Pre vypracovanie zadania som si vybral model systému určený prenosovou funkciou:

$$F(s) = \frac{s+10}{20s^2+12s+10}$$

Ktorá zapísaná v tvare póly/nuly má tvar:

$$F(s) = 0,05 \frac{(s+10)}{(s+0.3000-0.6403i)(s+0.3000+0.6403i)}$$



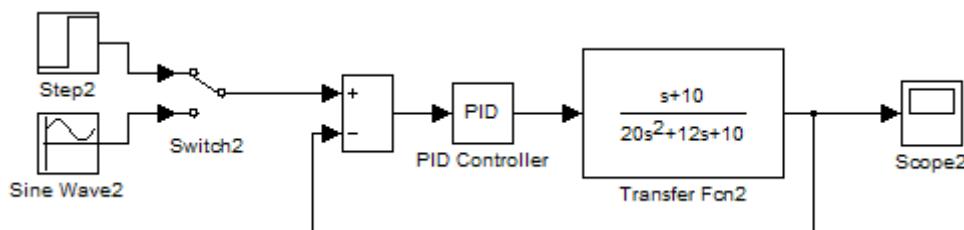
Obrázok 1: Odozva neregulovanej sústavy na jednotkový skok

Pre klasický regulátor som zvolil PID verziu:

$$F_r(s) = P + \frac{I}{s} + Ds$$

Výšku jednotkového skoku na vstupe do sústavy som nastavil na hodnotu 10.

Návrh klasického PID regulátora



Obrázok 2: Schéma zapojenia klasického PID regulátora

Pri nastavení koeficientov P , I a D som zvolil Ziegler–Nicholsovu heuristickú metódu návrhu PID regulátora, ktorej postup je nasledovný:

1. Na začiatku nastavíme proporčnú a derivačnú zložku na 0 a integračnú na ∞ . Ďalej postupne v malých krokoch zvyšujeme proporčnú zložku až kým sa sústava nedostane na hranicu stability, teda vykazuje stabilné kmity.

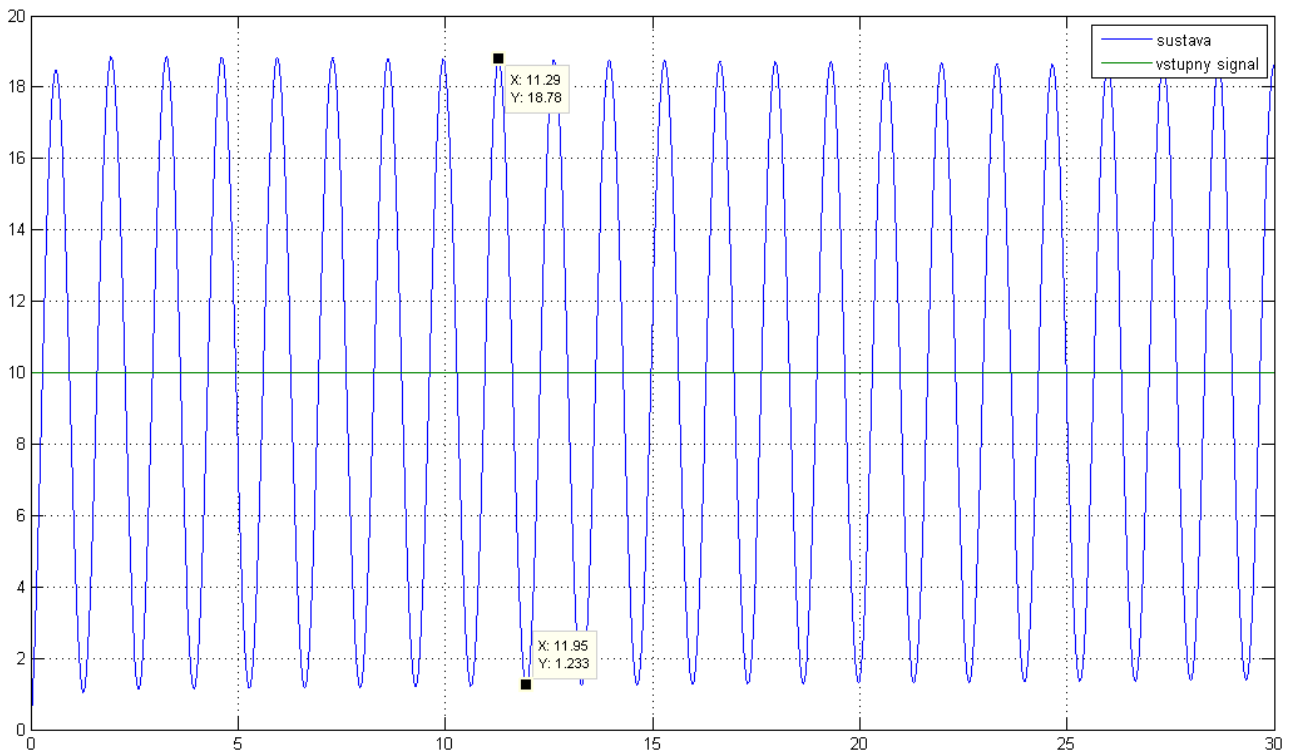
$$D=0, I=\infty, P\uparrow$$

V tomto stave je hodnota proporcionálneho zosilnenia kritická (P_K). Veľkosť amplitúdy tohto netlmeného kmitania je A_k .

2. Podľa hodnôt P_K a A_k nastavíme parametre PID regulátora na základe tabuľkových výpočtov:

Parameter	P	I	D
Výpočet podľa ZN	$0,65 P_K$	$2 P / A_k$	$P A_k / 8$

Tabuľka 1: Parametre PID regulátora podľa ZN metódy



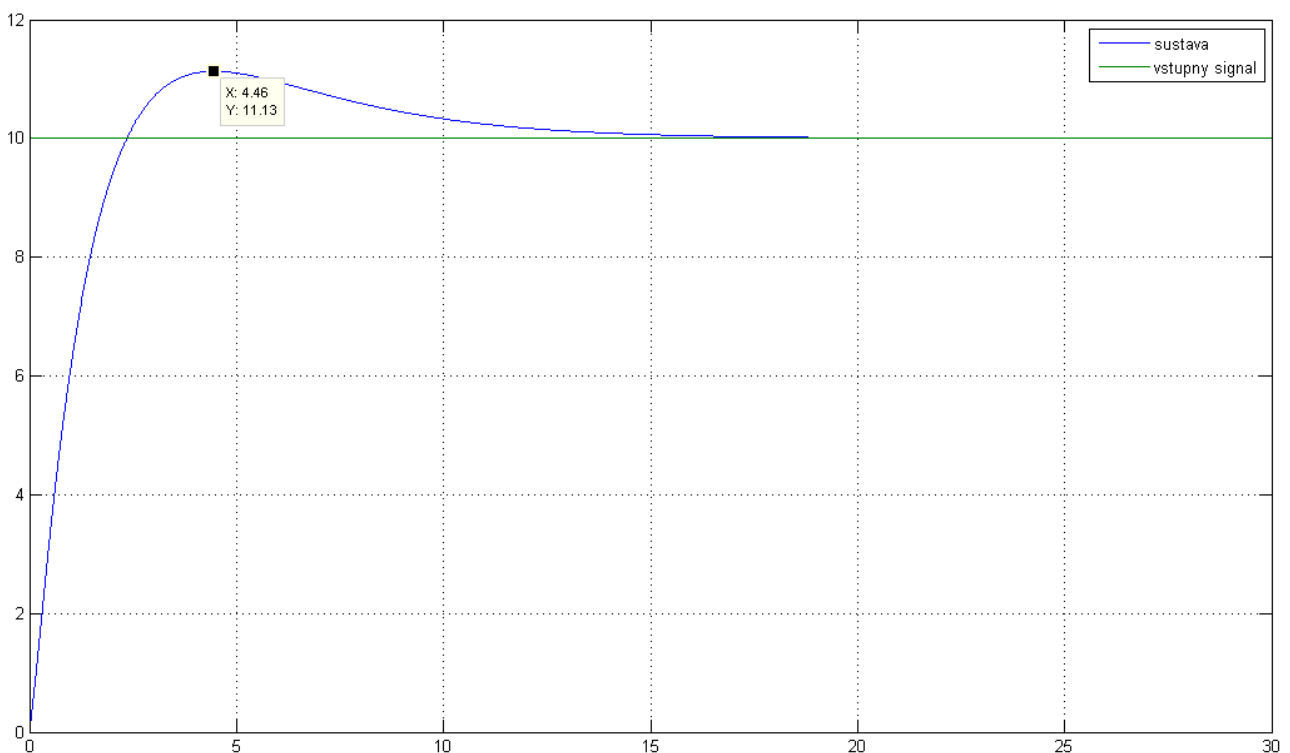
Obrázok 3: Nastavovanie PID regulátora pomocou ZN metódy - sústava na hranici stability

Náša sústava vykazovala stabilné kmity pre $P_K = 33,25$. Z obrázka (3) vieme približne určiť aj amplitúdu $A_k = (18,78 - 1,233) / 2 = 8,77$. Teraz už dokážeme odvodiť parametre PID regulátora:

$$P = 0,65 P_K = 21,61$$

$$I = 2 P / A_k = 4,93$$

$$D = P A_k / 8 = 23,69$$



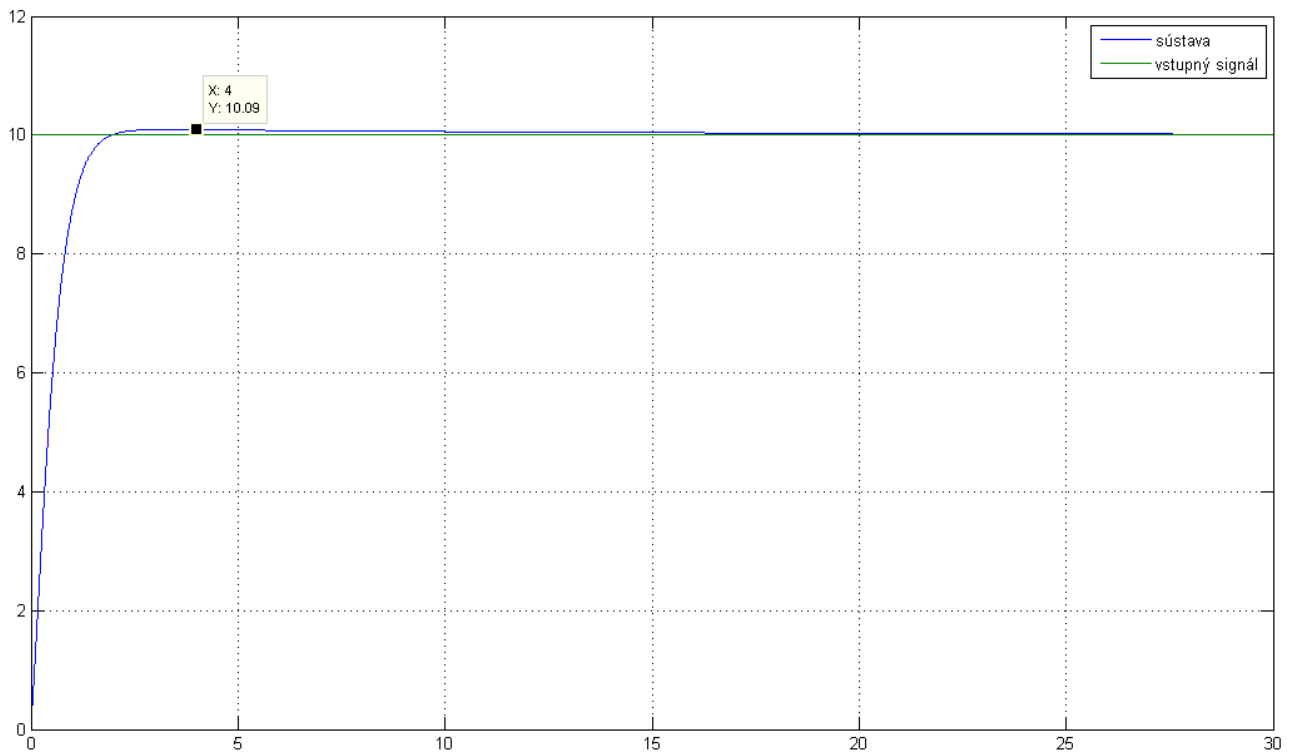
Obrázok 4: Nastavovanie PID regulátora pomocou ZN metódy - sústava po nastavení koeficientov

Z obrázku je zrejmé, že takto navrhnutý regulátor zlepšil vlastnosti sústavy, avšak napriek tomu nesplnil dané podmienky regulácie, kde prechyt bol o 1,13 vyšší, ako stanovená regulačná hodnota (10, tj. vyšší až o 11,3%). Z tohto dôvodu bola potrebná ďalšia úprava parametrov. P bolo zvýšené, aby bola sústava rýchlejšie uregulovaná, I a D znížené, aby sa dosiahol menší prechyt:

$$P = 40$$

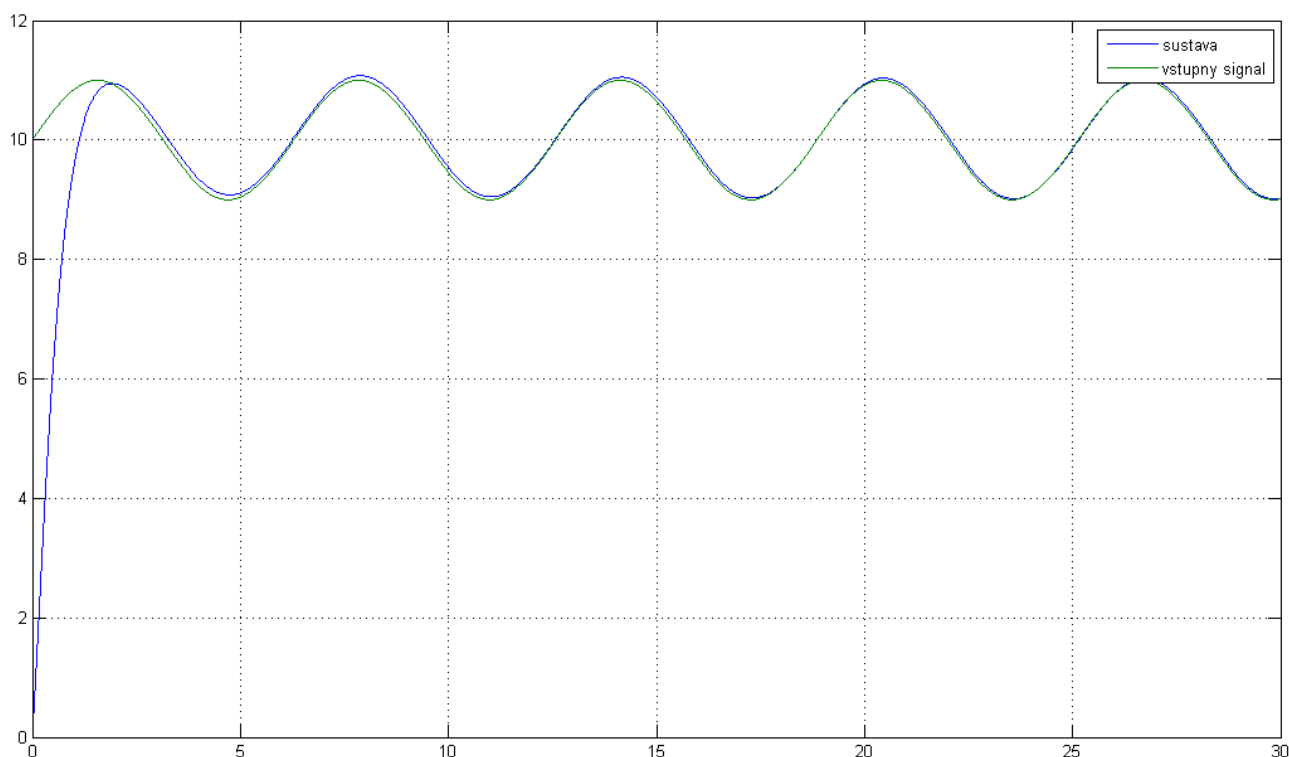
$$I = 2,75$$

$$D = 20$$



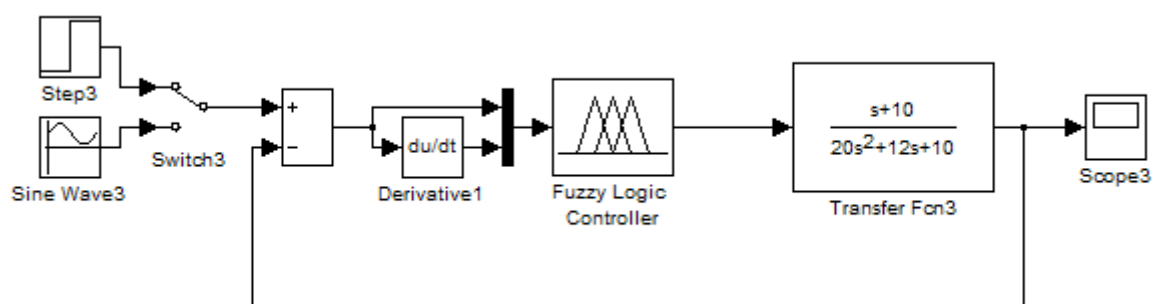
Obrázok 5: Odozva sústavy regulovanej PID regulátorom na jednotkový skok

Vo finálnej verzii dosiahol PID regulátor dobu nábehu za 2 sekundy a prechyt 1% žiadanej hodnoty.



Obrázok 6: Odozva sústavy regulovanej PID regulátorom na sínusový vstupný signál

Návrh fuzzy PD regulátora



Obrázok 7: Schéma zapojenia fuzzy regulátora

Pre účely návrhu fuzzy regulátora bol použitý program Matlab. Do regulátora vstupujú dve hodnoty: chyba a derivácia chyby. Výstupom z regulátora je hodnota akčného zásahu.

Chyba je určená odchýlkou sústavy voči žiadanej hodnote a derivácia chyby určuje priebeh regulácie (monotónnosť – rast, resp. klesanie hodnoty chyby).

Lingvistická premenná chyby je päťhodnotová, derivácie trojhodnotová a premenná akčného zásahu je pre potreby jemnejšej regulácie sedemhodnotová. Vnútorne funkcie príslušnosti sú trojuholníkové, okrajové lichobežníkové. Zaujímavosťou je fakt, že funkcie príslušnosti majú opačné znamienka, než by na prvý pohľad mali mať. Toto je zapríčinené negatívnou spätnou väzbou regulátora.

Logické operátory regulátora sú nastavené štandardne na min/max a defuzzifikácia na metódu centroidu.

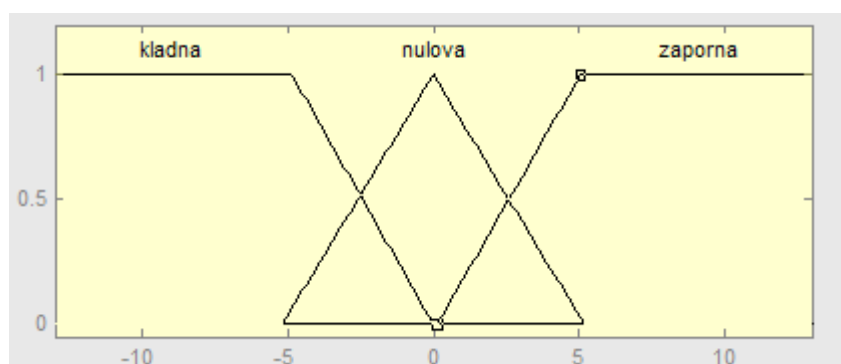
Bázy pravidiel, ako aj funkcie príslušnosti pre vstupné premenné sú definované rovnako pre Mamdaniho a aj TSK fuzzy regulátor, jediný rozdiel je v spôsobe definovania funkcií príslušnosti

výstupnej premennej akčného zásahu.

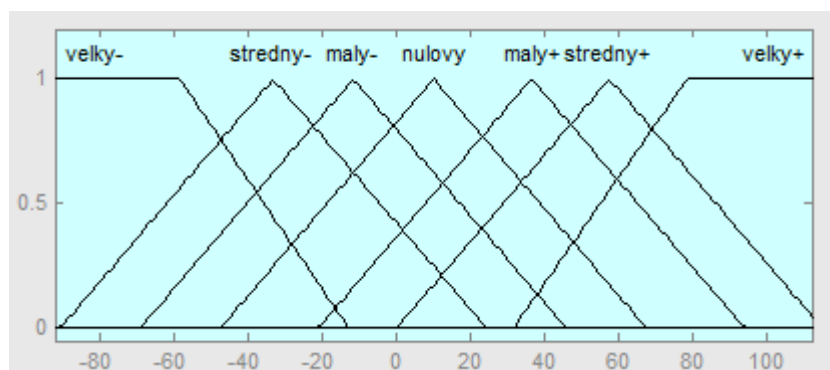
Oblasť efektívnej regulácie regulátora je nastavená v okolí žiadanej regulačnej hodnoty (10), čo je približne interval $\langle 5; 15 \rangle$.



Obrázok 8: Funkcie príslušnosti vstupnej premennej chyba



Obrázok 9: Funkcie príslušnosti vstupnej premennej derivácia



Obrázok 10: Funkcie príslušnosti výstupnej premennej akčný zásah u regulátora typu Mandani

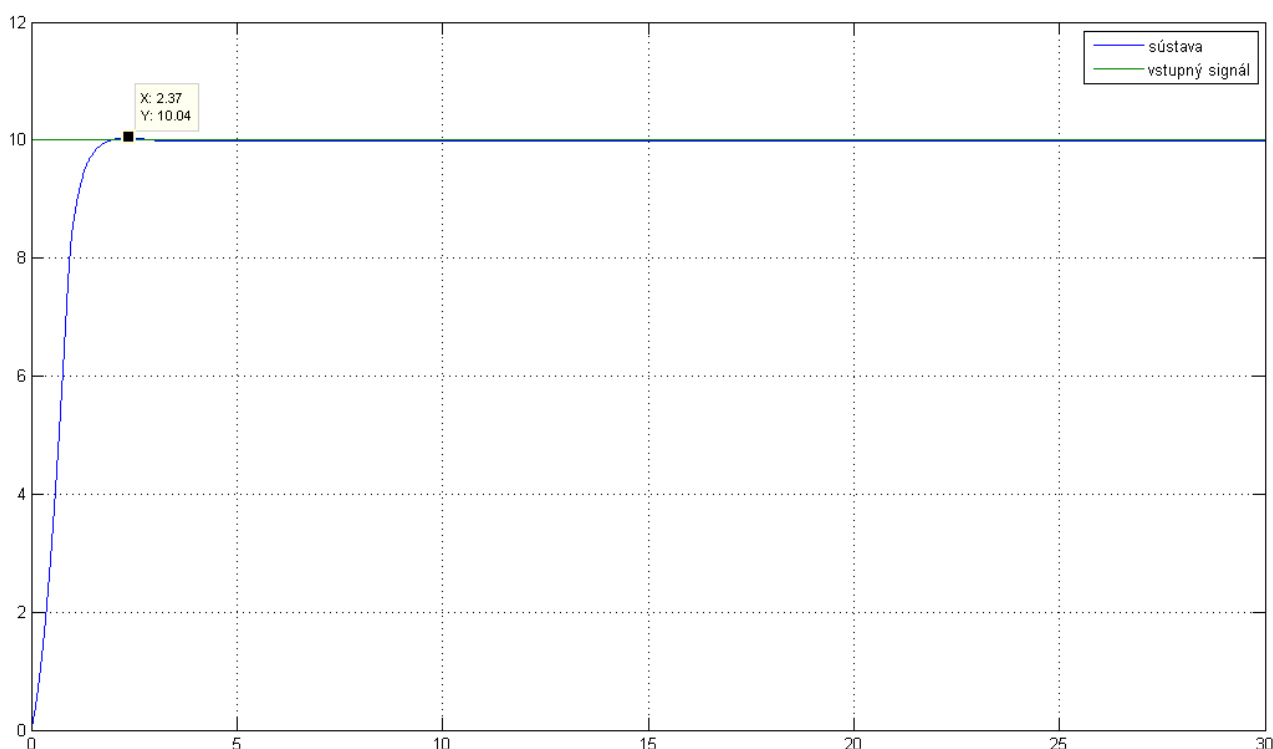
velky –	-70
stredny –	-30
maly –	-7
nulovy	10
maly +	27
stredny +	50
velky +	90

Tabuľka 2: Funkcie príslušnosti (konštanty) výstupnej premennej akčný zásah u regulátora typu TSK

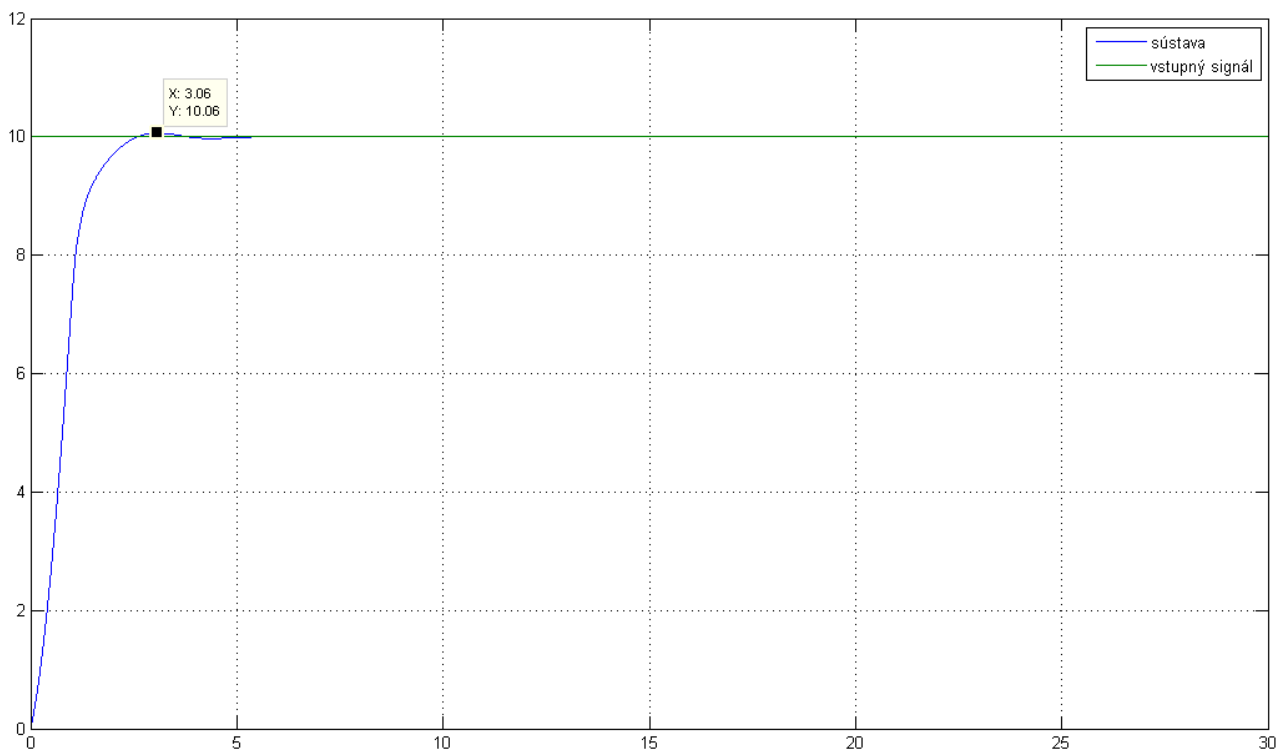
Pravidlo	Chyba	Derivácia	Zásah
1.	kladna_velka	kladna	velky-
2.	kladna_velka	nulova	velky-
3.	kladna_velka	zaporna	maly-
4.	kladna_mala	kladna	stredny-
5.	kladna_mala	nulova	maly-
6.	kladna_mala	zaporna	velky+
7.	nulova	kladna	maly-
8.	nulova	nulova	nulovy
9.	nulova	zaporna	maly+
10.	zaporna_mala	kladna	velky-
11.	zaporna_mala	nulova	maly+
12.	zaporna_mala	zaporna	stredny+
13.	zaporna_velka	kladna	maly+
14.	zaporna_velka	nulova	velky+
15.	zaporna_velka	zaporna	velky+

Tabuľka 3: Báza pravidiel fuzzy regulátora

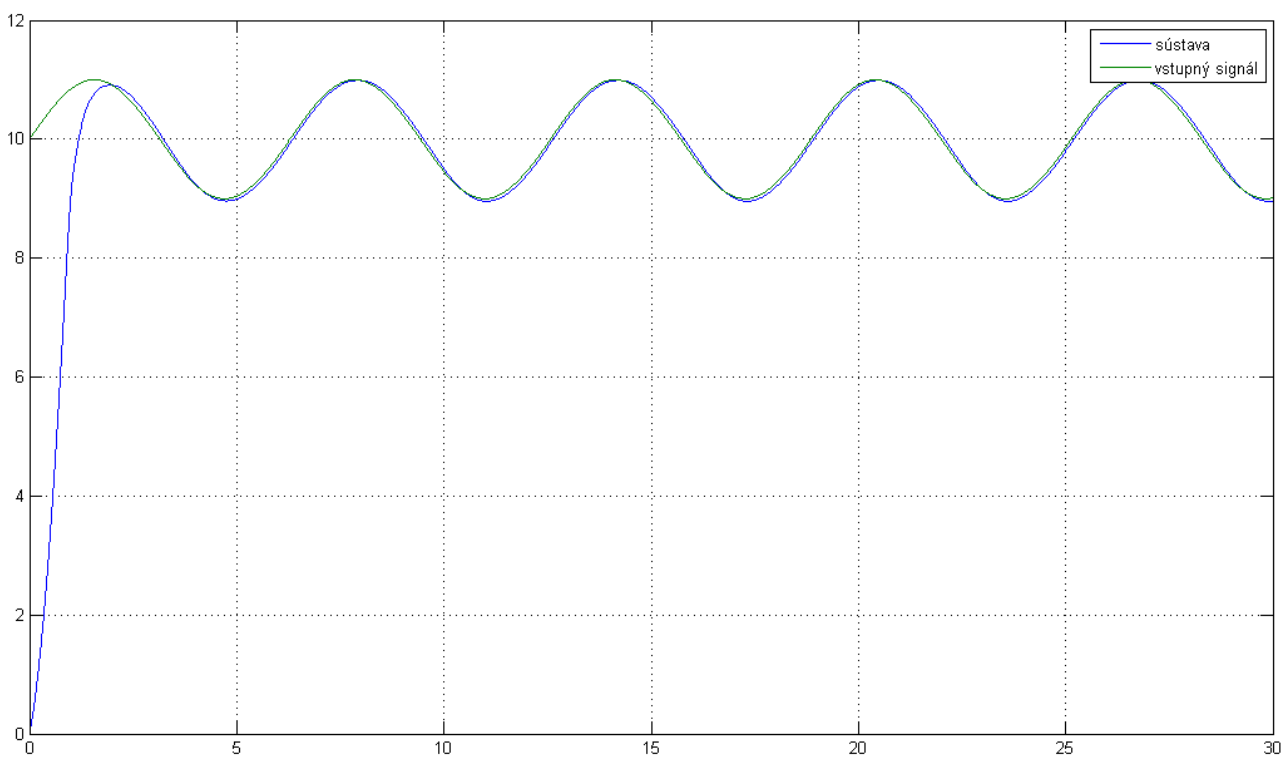
Nasledujú časové charakteristiky sústavy s navrhnutými fuzzy regulátormi pre vstupný signál jednotkového skoku, ako aj sínusový signál:



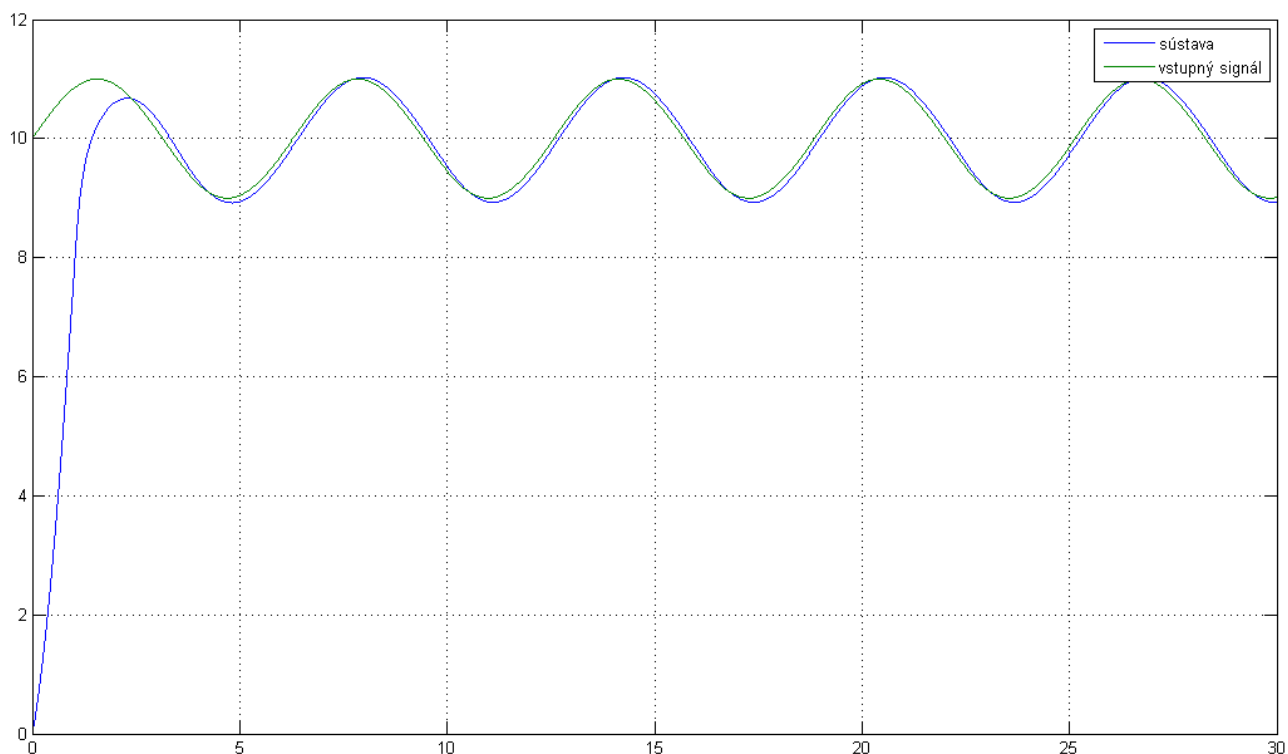
Obrázok 11: Odozva sústavy s fuzzy regulátorom typu mamdani na jednotkový skok



Obrázok 12: Odozva sústavy s fuzzy regulátorom typu TSK na jednotkový skok



Obrázok 13: Odozva sústavy s fuzzy regulátorom typu mamdani na sínusový signál



Obrázok 14: Odozva sústavy s fuzzy regulátorom typu TSK na sínusový signál

Záver

Všetky navrhnuté regulátory splnili požiadavky na kvalitu regulácie. Podarilo sa mi dokonca navrhnuť fuzzy regulátor typu mamdani, ktoré je pre danú sústavu v regulácii lepší, ako predstavený klasický PID regulátor. U regulátora typu TSK boli výsledky trochu horšie (dlhšia doba náběhu), ale jediným dôvodom je trochu iná štruktúra funkcií príslušnosti u výstupnej premennej. Som si istý, že pri ďalšom doladení hodnôt týchto funkcií by aj tento regulátor bol schopný podávať rovnaké výsledky.