<table>
<tr><td rowspan="3">IVKOVIĆ IVANA
P01
AUTOMATIKA
0036450036</td><td>FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
ZAGREB
ZAVOD ZA AUTOMATIKU I RAČUNALNO INŽENJERSTVO</td><td rowspan="3">29.05.2013.</td></tr>
<tr><td>Osnove inteligentnog upravljanja</td></tr>
<tr><td>Vježba br. 2:
Projektiranje nelinarnog regulatora metodom izoklina</td></tr>
</table>

UVOD

Cilj domaće zadaće je analiza nelinearnog sustava 2. reda metodom izoklina, te projektiranje neizrazitog regulatora za analizirani sustav. Nelinearni sustav drugog reda opisan je jednadžbama:

$$\dot{x} = -2x + y \tag{1-1}$$

$$\dot{y} = x(x^2 - 3x + 4) - y \tag{1-2}$$

U prvom zadatku potrebno je metodom izoklina odrediti ravnotežna stanja zadanog sustava i njihov tip (stabilno/nestabilno) te dobivene rezultate analize potvrditi simulacijom u Simulinku. U drugom zadatku se korištenjem metode izoklina projektira neizraziti regulator kojim će zatvoreni sustav imati jedno stabilno ravnotežno stanje. Rezultate sinteze potrebno je potvrditi simulacijom u Simulinku.

TEORETSKI PRIKAZ I RAZRADA PROBLEMA

Metoda izoklina je jednostavna metoda za pronalaženje ravnotežnih stanja pojedinih sustava. Potrebno je pronaći krivulje (izokline) koje povezuju sva područja u kojima je derivacija varijabli jednaka nuli te zatim odrediti njihova sjecišta. Rezultat toga su točke koje predstavljaju ravnotežna stanja sustava.

Za sustav zadan jednadžbama (1-1) i (1-2) možemo pisati:

$$0 = -2x + y \tag{2-1}$$

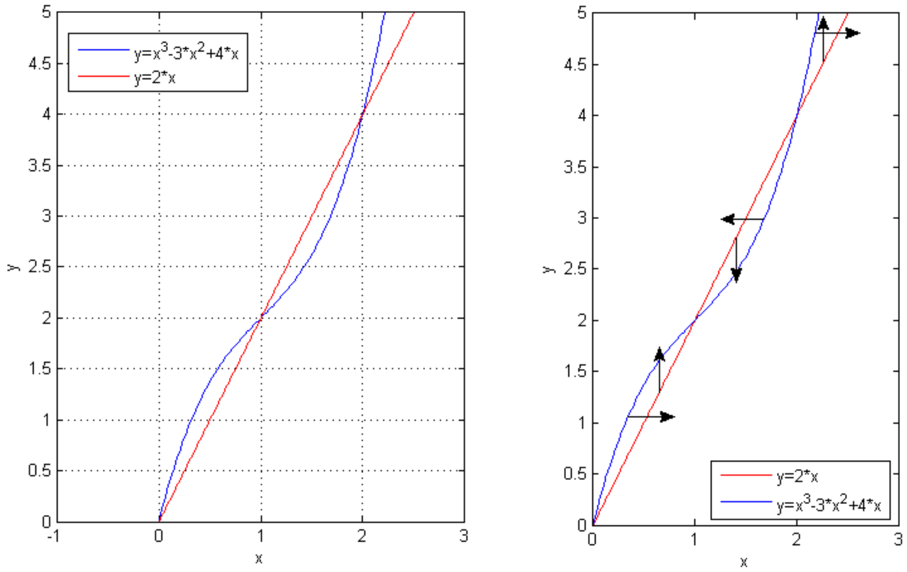
$$0 = x(x^2 - 3x + 4) - y \tag{2-2}$$

Odakle slijede jednadžbe izoklina:

$$y = 2x \tag{2-3}$$

$$y = x(x^2 - 3x + 4) \tag{2-4}$$

Sjecišta tih dviju izoklina nalaze se u točkama (0,0), (1,2) i (2,4). To su ujedno i ravnotežna stanja zadanog sustava (Slika 2.1.a)).



Slika 2.1.

a) Prikaz sjecišta izoklina

b) Prikaz smjera gibanja točaka po izoklini

Nadalje, da bi se odredio tip svakog od ravnotežnih stanja zadanog sustava potrebno je provesti analizu smjera gibanja točaka na izoklini. Poznato je da se pri prolasku kroz ravnotežno stanje smjer gibanja točke izmjeni za π radijana tako da je potrebno odabrati samo jednu točku na svakoj izoklini, a smjer gibanja ostalih se može zaključiti ovisno o položaju ravnotežnih stanja naspram te točke. Smjer gibanja točke je određen sljedećom formulom:

$$\vartheta = \tan^{-1}\frac{\dot{y}}{\dot{x}} \tag{2-5}$$

što u našem slučaju izgleda:

$$\vartheta = \tan^{-1}\frac{x(x^2-3x+4)-y}{-2x+y} \tag{2-6}$$

Iz formule (2-6) lako se odrede smjerovi gibanja točaka. Za proizvoljno odabranu točku na izoklini (3,6) smjer je +π/2, a za točku (3,12) smjer je 0 radijana, a iz toga se može zaključiti o ostalim točkama. Rezultati analize prikazani su slikom 2.1.b).

Iz slike 2.1.b) može se zaključiti da postoji samo jedno stabilno ravnotežno stanje u sustavu prikazano točkom (1, 2). To je zato što su smjerovi gibanja točaka u okolici tog ravnotežnog stanja usmjereni prema njemu, dok su smjerovi gibanja točaka u okolici ostala dva ravnotežna stanja okrenuti od njih što implicira nestabilnost.

Pri projektiranju neizrazitog regulatora također se možemo poslužiti metodom izoklina. Ideja je da se jednoj ili objema jednadžbama koje opisuju dinamiku sustava doda funkcija regulatora u_{fc} kako bi se tako nastale izokline sjekle u samo jednoj točki koja bi predstavljala stabilno ravnotežno stanje sustava. Kako je zahtjev da se izokline sijeku u samo jednoj točki pretpostavka je da bi bilo najjednostavnije da obje izokline budu pravci i da se sijeku u točki (0,0). Jedan od mogućih oblika izoklina koji odgovara ovim uvjetima jest:

$$y = 2x \tag{2-7}$$

$$y = 0 \tag{2-8}$$

Iz čega se da zaključiti da je potrebno modificirati izoklinu prikazanu jednadžbom (2-4) nekom funkcijom regulatora u_{fc} da poprimi traženi oblik prikazan jednadžbom (2-8).

$$y = x(x^2 - 3x + 4) + u_{fc} = 0 \tag{2-9}$$

Što znači da funkcija regulatora poprima oblik:

$$u_{fc} = -x(x^2 - 3x + 4) \tag{2-10}$$

U ovoj zadaći regulator će biti dodan na sljedeći način:

$$\dot{x} = -2x + y \tag{2-11}$$

$$\dot{y} = x(x^2 - 3x + 4) - y + u_{fc} \tag{2-12}$$

Analiza stabilnosti ravnotežnog stanja u ovom slučaju je trivijalna. Jednadžbe (2-11) i (2-12) uvrstimo u formulu (2-5) koja poprima oblik:

$$\vartheta = \tan^{-1} \frac{-y}{-2x+y} \tag{2-13}$$

Za proizvoljno odabranu točku (1,0) smjer gibanja je π tj. usmjeren prema ravnotežnom stanju, a za točku (1,2) smjer gibanja je –π/2 također usmjeren prema ravnotežnom stanju iz čega se može zaključiti da je ono doista stabilno.

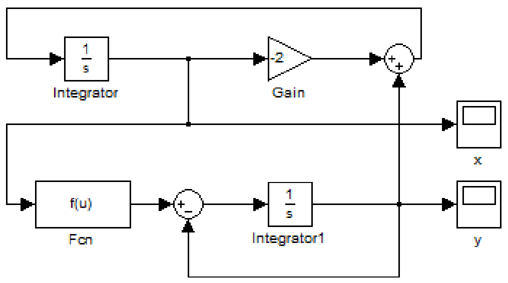
Kako funkcija regulatora ima samo jednu varijablu neizraziti regulator će imati samo jedan ulaz. Tablica vrijednosti singletona s obzirom na centroide ulazne vrijednosti regulatora projektiranog u sklopu ove zadaće zadana je tablicom 2.1.

c_x	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
A	128	66	28	8	0	-2	-4	-12	-32

Tab. 2.1. Vrijednosti singletona s obzirom na centroide ulaza

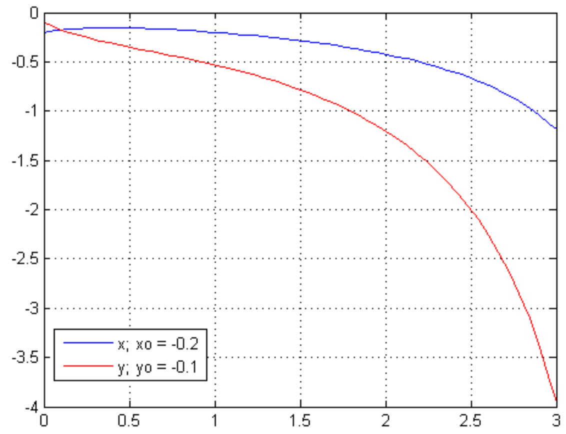
PRIKAZ DOBIVENIH REZULTATA

U sklopu prvog zadatka izrađena je simulink shema sustava zadanog jednadžbama (1-1) i (1-2) prikazana slikom 3.1.

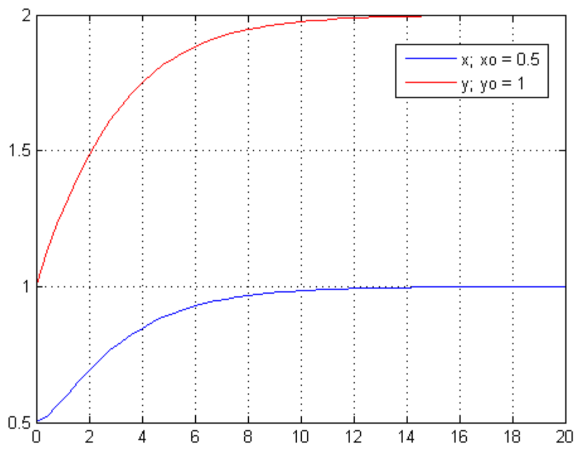


Slika 3.1. Simulink shema sustava

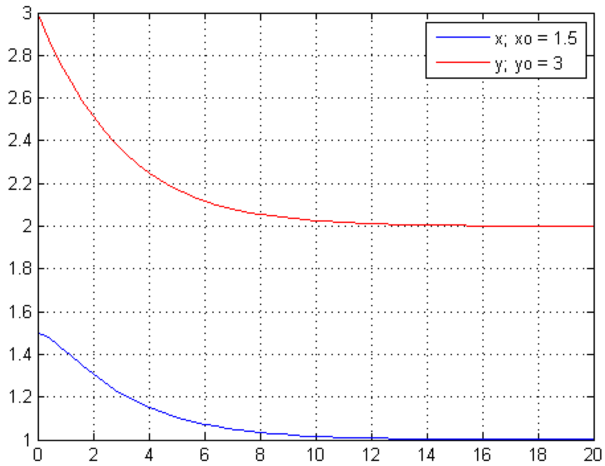
Za točke u okolici ravnotežnih stanja (0,0),(1,2) i (2,4) dobiveni su sljedeći odzivi:



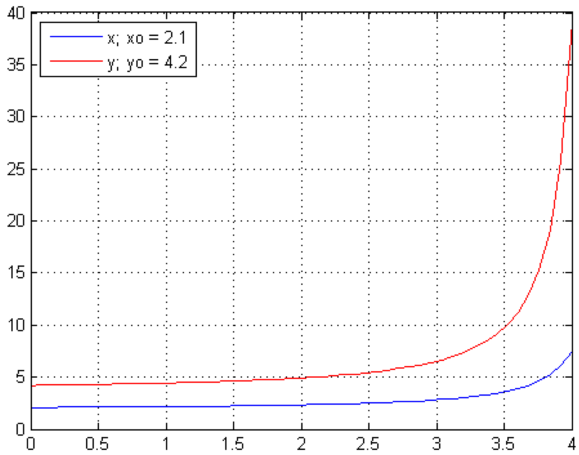
Slika 3.2. Odziv sustava za točku (-0.2,-0.1) u okolici (0,0) - nestabilan



Slika 3.3. Odziv sustava za točku (0.5,1) u okolici (0,0) i (1,2) – stabilan u (1,2)



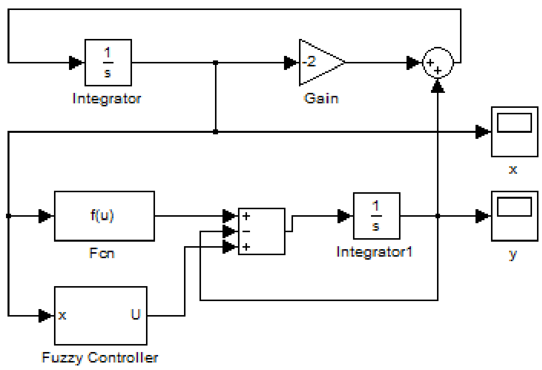
Slika 3.4. Odziv sustava za točku (1.5,3) u okolici (1,2) i (2,4) – stabilan u (1,2)



Slika 3.5. Odziv sustava za točku (2.14.2) u okolici (2,4) - nestabilan

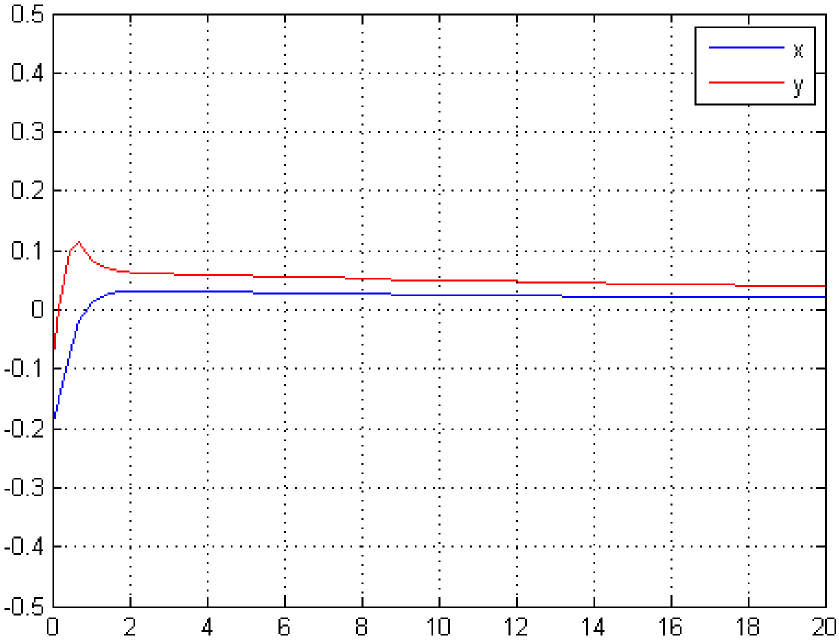
Dobiveni odzivi sustava prikazani slikama 3.2., 3.3., 3.4. i 3.5. potvrđuju prijašnji izračun.

Za drugi zadatak simulink shema sustava prilagođena je prema slici 3.6.

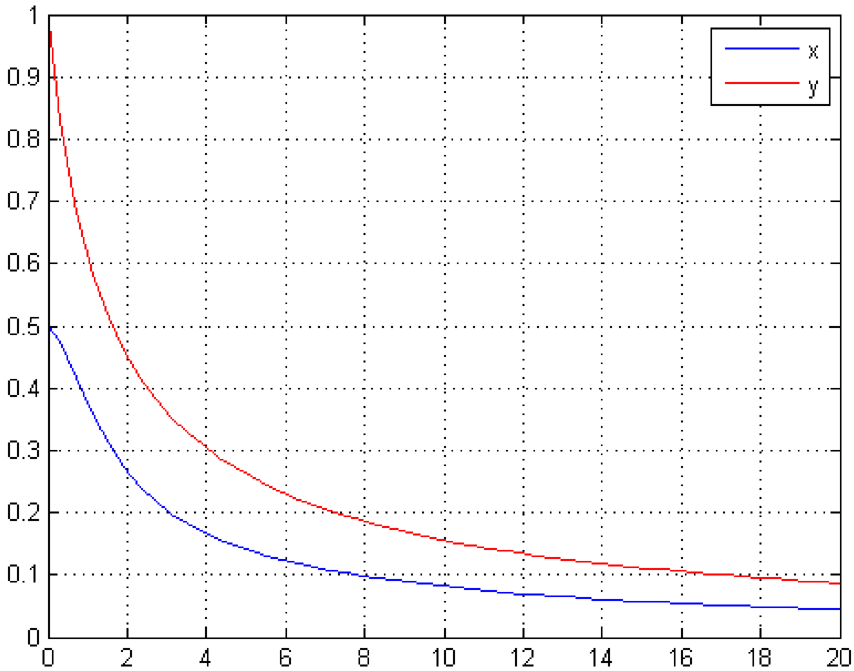


Slika 3.6. Simulink shema sustava sa neizrazitim regulatorom

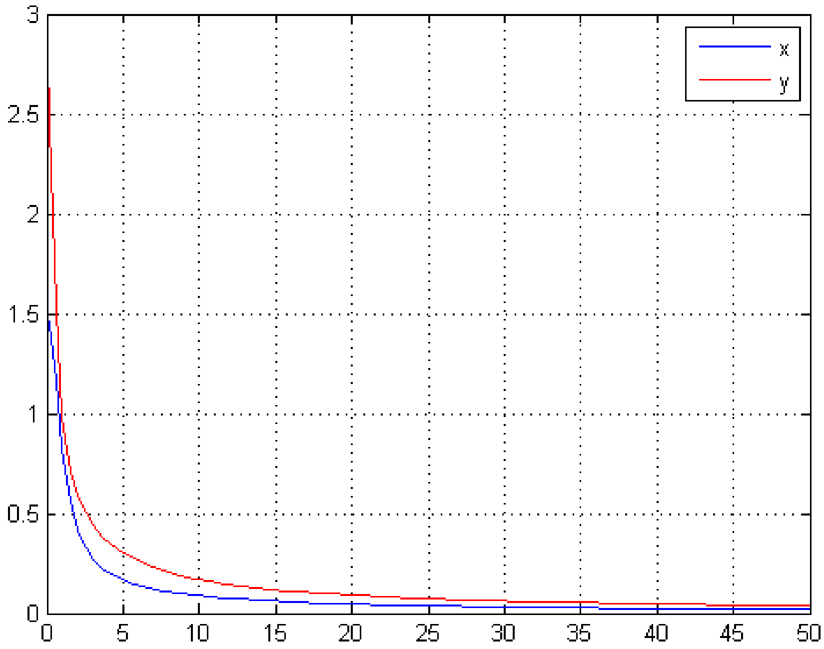
Skripta za izračun singletona i postavljanje pravila unutar fis strukture dana je u dodatku A. Za sustav reguliran neizrazitim regulatorom dobiveni su sljedeći odzivi:



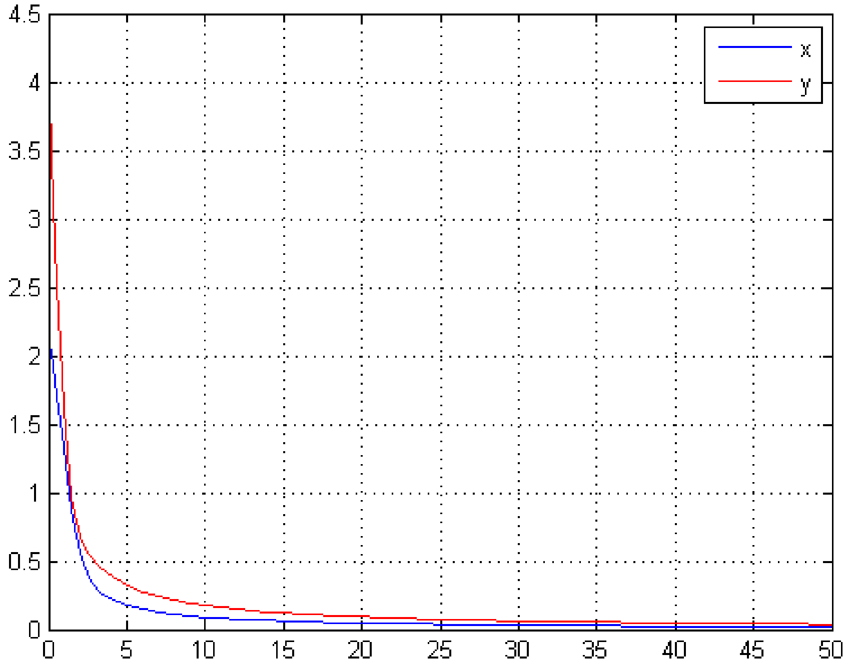
Slika 3.7. Odziv sustava za točku (-0.2,-0.1) – stabilan u (0,0)



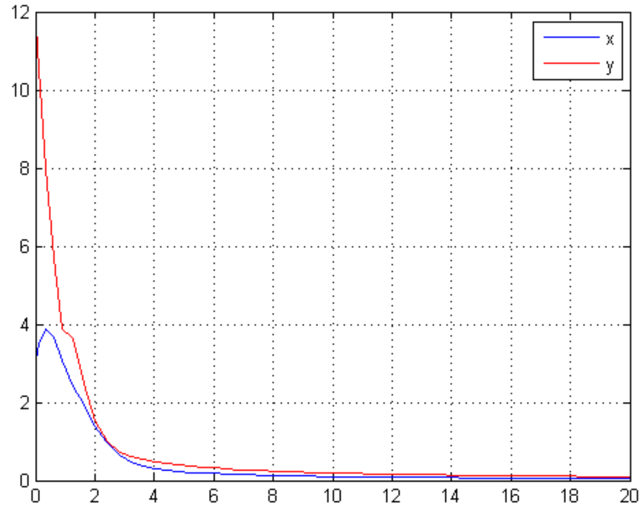
Slika 3.8. Odziv sustava za točku (0.5, 1) – stabilan u (0,0)



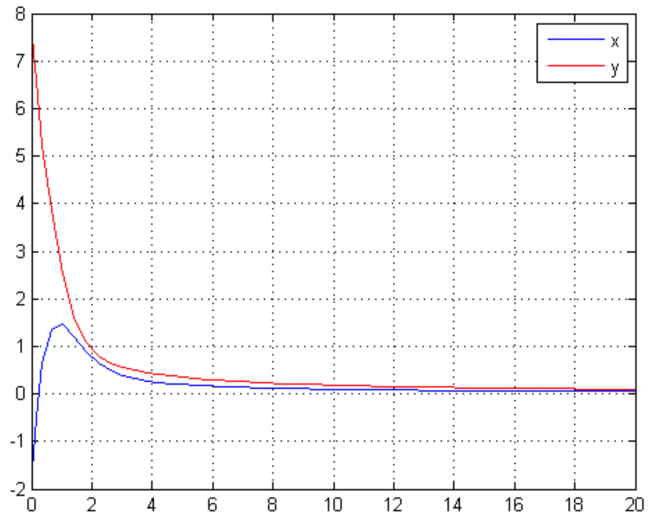
Slika 3.9. Odziv sustava za točku (1.5,3) – stabilan u (0,0)



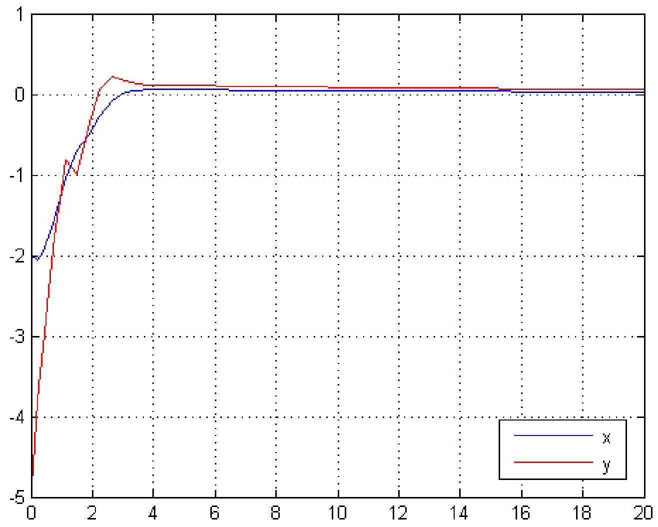
Slika 3.10. Odziv sustava za točku (2.1,4.2) – stabilan u (0,0)



Slika 3.11. Odziv sustava za točku (3,12) – stabilan u (0,0)



Slika 3.12. Odziv sustava za točku (-2,8) – stabilan u (0,0)



Slika 3.13. Odziv sustava za točku (-2,-5) – stabilan u (0,0)

ZAKLJUČAK

Meni je ovo bilo dosta zabavno. ☺
Sve skupa je bilo veoma poučno. Sad sa sigurnošću znam analizirati sustav metodom izoklina i projektirati neizraziti regulator za taj sustav.
Što se tiče rezultata mogu samo komentirati da nekad kao npr. na slici 3.7. i 3.8. se može vidjeti da sustav nije baš u (0,0), što je zapravo na neki način i očekivano jer je ostavljeno premalo vremena u tim konkretnim simulacijama, ali i zato što je projektirani regulator dosta grub i nužno je da bude neko odstupanje oko 0. To bi se eventualno dalo popraviti povećanjem broja singletona i finijim odabirom centroida, ali mišljenja sam da su ovi dobiveni rezultati zadovoljavajući i da sve skupa dosta dobro radi.

DODATAK A

```
fuzzyX = readfis('fuzzyX.fis');

x_u = [-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4];    % Centroidi
rule_idx1=[1:9];
A = -x_u.^3+3*x_u.^2-4*x_u;     % Vrijednosti izlaznih singletona

% Pridjeli vrijednosti izlaznim singletonima
fuzzyX.output.range = [min(A) max(A)];
for i = 1:length(fuzzyX.output.mf)
    fuzzyX.output.mf(i).name = ['A' mat2str(i)];
    fuzzyX.output.mf(i).params = A(i);
    fuzzyX.rule(i).antecedent = rule_idx1(i);
    fuzzyX.rule(i).consequent = i;
    fuzzyX.rule(i).weight = 1;
    fuzzyX.rule(i).connection = 1;
end
```