

March 6, 2025

1 Postavka zadatka

Za dati sistem:

$$G(s) = \frac{0.0125}{(s + 0.25)^2} e^{-8s} \quad (1)$$

moгуće vrednosti reference su $r \in [-2, +2]$, a upravljanja $u \in [-0.5, +0.5]$.

- Opređeliti se za jedan od pristupa projektovanju fuzzy upravljanja: intuitivni ili fazifikacija konvencionalnog upravljanja. U skladu sa opređeljenjem, projektovati po izboru jedan sistem fuzzy upravljanja za praćenje referentne vrednosti objekta upravljanja zadatog varijantom V. Postupak projektovanja, usvojenu strukturu i konkretno podešavanje parametara regulatora navesti u izveštaju. Napraviti Simulink model sistema upravljanja zadatim objektom u zatvorenoj sprezi. Realizovati odziv na step referentne vrednosti sa minimalne vrednosti na maksimalnu vrednost.
- Opređeliti se za jedan od pristupa projektovanju fuzzy upravljanja: intuitivni ili fazifikacija konvencionalnog upravljanja, pa projektovati jedan sistem fuzzy upravljanja za potiskivanje nemerljivog poremećaja na ulazu objekta upravljanja zadatog varijantom V. Smatrati da je referentna vrednost uvek $r = 0$ i da je očekivana maksimalna amplituda poremećaja jednaka polovini maksimalne amplitude upravljačkog signala. Napraviti Simulink model sistema upravljanja zadatim objektom u zatvorenoj sprezi. Realizovati odziv na sledeći vremenski profil poremećaja: step sa nulte na maksimalnu moguću vrednost, pa, nakon smirivanja tranzijenta, step na minimalnu moguću vrednost.
- Prikazati vremenske oblike signala upravljanja, regulisane varijable (signala na izlazu objekta upravljanja) i signala na neposrednom ulazu u fuzzy inference sistema za oba sistema. Na osnovu dobijenih rezultata sumirati osobine projektovanih sistema upravljanja.

2 Praćenje reference

Odabrani pristup za projektovanje fuzzy PID kontrolera je putem fazifikacije konvencionalnog upravljanja. Prvi korak u ovom postupku je podešavanje konvencionalnog PID kontrolera. Podešavanje ćemo sprovesti uz pomoć Ziegler-Nicholsove metode. Posmatrajmo sledeću šemu sa našim zadatim sistemom.

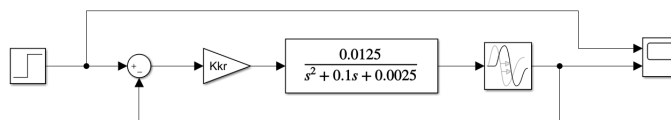


Figure 1: Šema sistema za pronalaženje parametara Ziegler-Nicholsovom procedurom

U eksperimentu najpre isključujemo integralno i diferencijalno dejstvo, dok se faktor proporcionalnog dejstva K_p postavlja na neku malu vrednost pri kojoj je kontura regulacije stabilna. Zatim se u malim iznosima korak po korak povećava K_p , sve dok se kontura ne nađe na oscilatornoj granici stabilnosti. Ova vrednost K_p se usvaja kao kritično pojačanje K_{kr} , a vreme između dva sukcesivna maksimuma u oscilacijama je vrednost koja se usvaja za T_{kr} . Na osnovu ovih parametara i sledeće tabele, možemo pristupiti podešavanju parametra PID kontrolera.

Kontroler	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_{kr}$		
PI	$0.45 K_{kr}$	$T_{kr} / 1.2$	
PID	$0.6 K_{kr}$	$T_{kr} / 2$	$T_{kr} / 8$

Figure 2: Ziegler-Nicholsova pravila

Sprovođenjem ovog eksperimenta na naš sistem, dostizanje oscilatorne granice postizemo za sledeće parametre: $K_{kr} = 1.146$ i $T_{kr} = 59.51$, što primećujemo na sledećem grafiku.

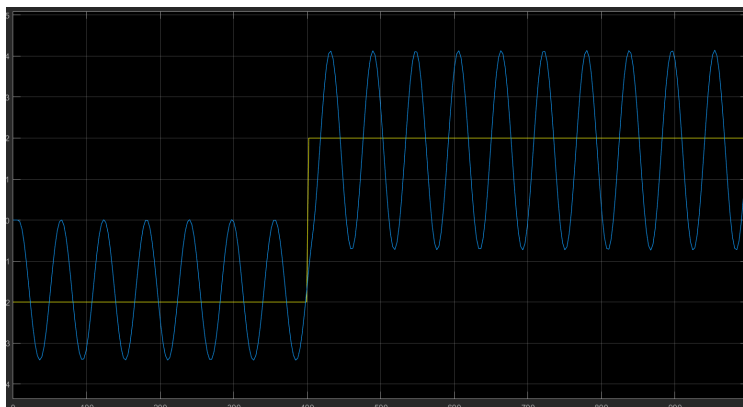


Figure 3: Izlaz sistema za odabrane parametre K_{kr} i T_{kr}

Primenom Ziegler-Nicholsovih pravila, izračunavamo odgovarajuće parametre za PID kontroler:

$$K_p = 0.6 \cdot K_{kr} = 0.6876$$

$$T_i = \frac{T_{kr}}{2} = 29.755$$

$$T_d = \frac{T_{kr}}{8} = 7.4388$$

Ovim postupkom smo konstruisali klasičan PID kontroler predstavljen sledećom šemom.

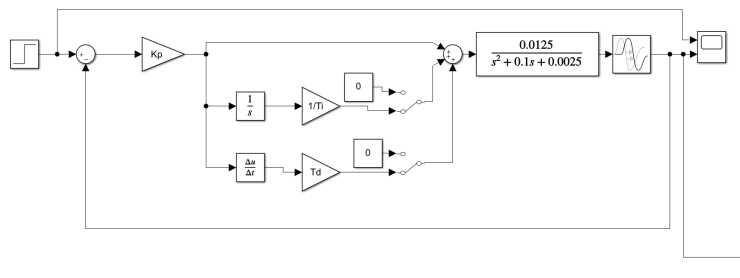


Figure 4: Klasičan PID kontroler

Korišćenjem izračunatih parametara, uz pomoć PID kontrolera za naš sistem dobijamo sledeći odziv na referencu:

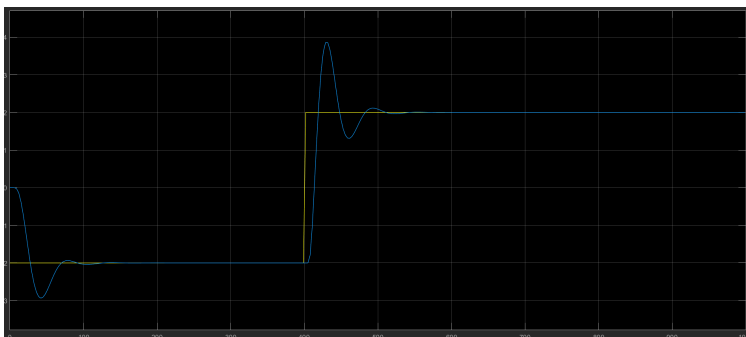


Figure 5: Odziv sistema korišćenjem klasičnog PID kontrolera

Sledeći korak fazifikacije predstavlja kreiranje linearnog fuzzy kontrolera. Za početak uvodimo samo proporcionalno dejstvo. Za razliku od klasičnog P kontrolera, fuzzy P kontroler ima dva pojačanja: \hat{K}_p i \hat{K}_u . Pojačanja se koriste za podešavanje odziva, ali sa dva pojačanja imamo dodatni stepen slobode, koji možemo koristiti za skaliranje izlaznog signala da bismo u potpunosti iskoristili opseg dozvoljenog upravljanja procesom. Šema ovakvog kontrolera je data na slici u nastavku.

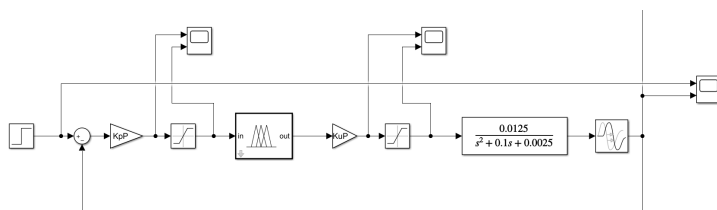


Figure 6: Fuzzy proporcionalni kontroler

Izlaz kontrolera je signal u koji je generalno nelinearna funkcija ulaznog signala e :

$$u = \hat{K}_u \cdot f(\hat{K}_p \cdot e)$$

Korišćenjem linearne aproksimacije za funkciju f dobija se:

$$u = \hat{K}_u \cdot \hat{K}_p \cdot e$$

odakle zaključujemo da je proizvod pojačanja fuzzy P kontrolera jednak proporcionalnom pojačanju:

$$K_p = \hat{K}_u \cdot \hat{K}_p$$

Ulazni i izlazni univerzumi potpuno linearnog FP kontrolera moraju biti normirane širine $[-1, 1]$. Prema tome, ukoliko je opseg dozvoljenog upravljanja $u \in [-U_{max}, +U_{max}]$, tada biramo $\hat{K}_u = U_{max}$, a \hat{K}_p biramo prema već navedenoj jednačini koja predstavlja odnos između ovih parametara. Za naše zadate opsege, dobijamo sledeće parametre: $\hat{K}_u = 0.5$ i $\hat{K}_p = 1.3752$.

Sam fuzzy model konstruišemo na osnovu nekoliko bitnih smernica. Važno je da izlaz predstavlja singltoni čija pozicija se određuje kao suma pozicija vršnih vrednosti ulaznih skupova, i zbog ovoga biramo Sugeno model. U našem slučaju, za upravljanje definišemo singlton $\hat{u} \in [neg, nula, poz]$. Pored toga, preporučljivo je koristiti trougaone ulazne skupove sa nivoom preklapanja 50% osnovice trouglova. Uzimajući ovo u obzir, pravimo sledeće fazi skupove nad univerzumom greške: neg, nula i poz. Izgled ulaznog univerzuma prikazan je na sledećoj slici.

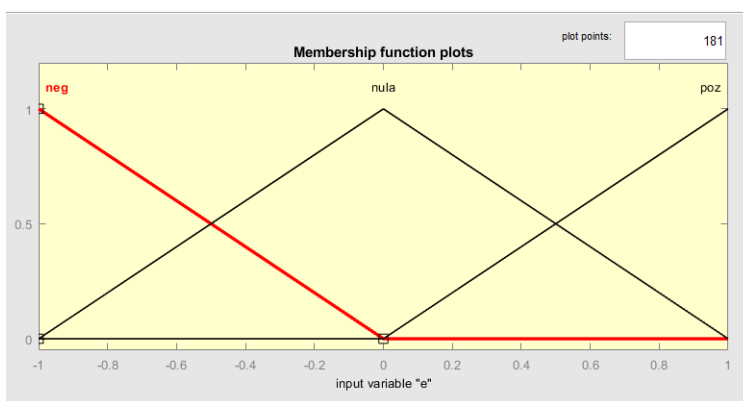


Figure 7: Ulaz proporcionalnog fuzzy kontrolera

Set pravila koje koristimo je sledeći:

1. ako je $\hat{e} = neg$ tada $\hat{u} = neg$
2. ako je $\hat{e} = nula$ tada $\hat{u} = nula$
3. ako je $\hat{e} = poz$ tada $\hat{u} = poz$

Pomoću ovako napravljenog fuzzy proporcionalnog kontrolera, dobijamo sledeći odziv sistema.

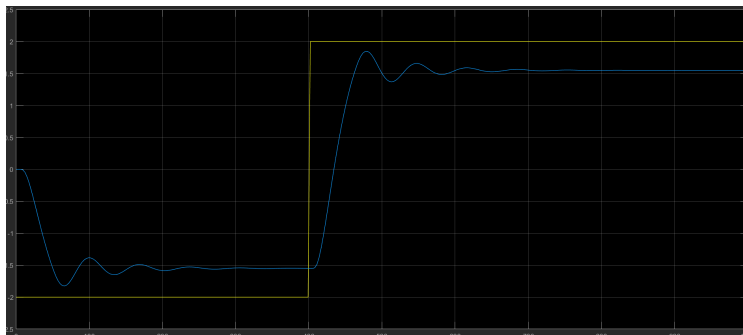


Figure 8: Odziv sistema korišćenjem fuzzy proporcionalnog kontrolera

Sa ovog grafika možemo zaključiti da postoje manji preskok i oscilacije, koji se mogu ukloniti uvođenjem

diferencijalnog dejstva, što je naš sledeći korak. Pored toga, primećujemo i da postoji greška u stacionarnom stanju, što se otklanja uvođenjem integralnog dejstva.

Na sledećim graficima su prikazani signali na neposrednom ulazu u fuzzy sistem-signal greške, kao i signal na izlazu iz fuzzy sistema-upravljanje. Grafik sa signalom greške prikazuje ovaj signal pre i nakon saturacije, koja je dodata kako bi se ulaz u fuzzy sistem ograničio na potreban opseg od $[-1, +1]$.

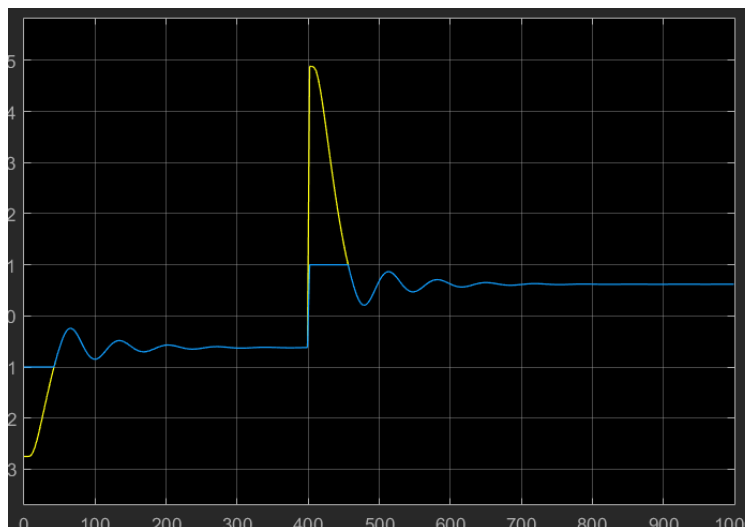


Figure 9: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalan kontroler

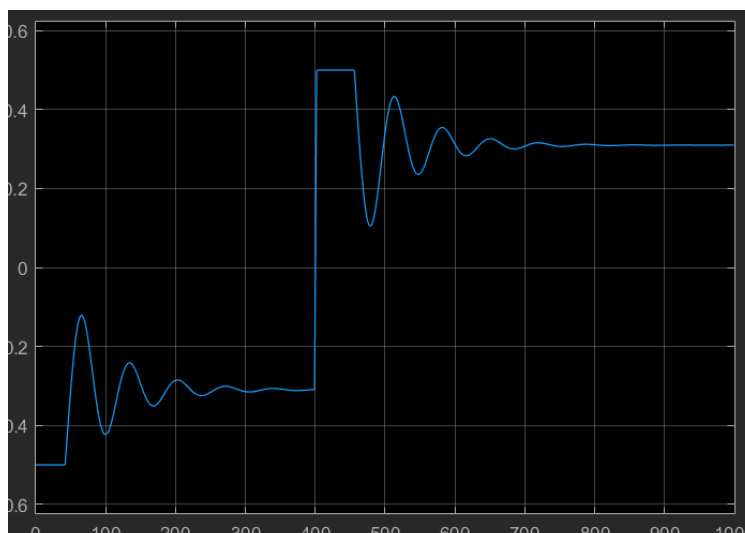


Figure 10: Signal na izlazu iz fuzzy proporcionalnog kontrolera

Naredni korak fazifikacije predstavlja dodavanje diferencijalnog dejstva. Diferencijalno dejstvo doprinosi u predviđanju promene greške praćenjem trenda promene. Cilj ovoga je poboljšanje stabilnosti u zatvorenoj sprezi kao i smanjenje preskoka i usporavanje sistema. Struktura diskretnog PD kontrolera je sledeća:

$$u_k = K_p e_k + K_p T_d e_{dk} \quad (2)$$

Novi ulazi u fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler su normirani signal greške, kao i normirani izvod signala greške. Model datog sistema je prikazan na sledećem grafiku:

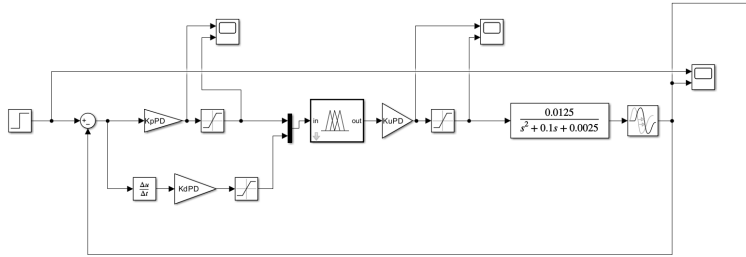


Figure 11: Fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler

Kako je izlaz kontrolera ponovo nelinearna funkcija greške e i izvoda greške e_d :

$$u = \hat{K}_u f(\hat{K}_p e, \hat{K}_d e_d), \quad (3)$$

kao i u prošlom sličaju ćemo koristiti linearnu aptoksimaciju:

$$u = \hat{K}_u (\hat{K}_p e + \hat{K}_d e_d) = \hat{K}_u \hat{K}_p e + \hat{K}_u \hat{K}_d e_d \quad (4)$$

Iz jednačina (2) i (4) se dobijaju sledeće veze:

$$\hat{K}_p = \frac{K_p}{\hat{K}_u} \quad (5)$$

$$\hat{K}_d = \frac{K_p T_d}{\hat{K}_u} \quad (6)$$

Na ovaj način je ostvarena aproksimacija linearnog FPD kontrolera. Kao i u prošlom slučaju, oba ulaza u kontroler (e i e_d) su predstavljeni normiranim univerzumima $[-1, 1]$, što je u našem modelu postignuto saturacijom. Za normirano upravljanje se usvajaju singltoni $\hat{u} \in \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ koji odgovaraju skupovima $\{neg, maloNeg, nula, maloPoz, poz\}$. Kako je dozvoljeno upravljanje u opsegu $u \in [-U_{max}, U_{max}]$, dobijamo da je $\hat{K}_u = U_{max}/2 = 0.25$, $\hat{K}_p = 2.7504$ i $\hat{K}_d = 20.4595$. Signal promene greške je predstavljen istim fuzzy skupovima kao i signal greške u slučaju samo proporcionalnog fuzzy kontrolera, što se može videti na sledećoj slici:

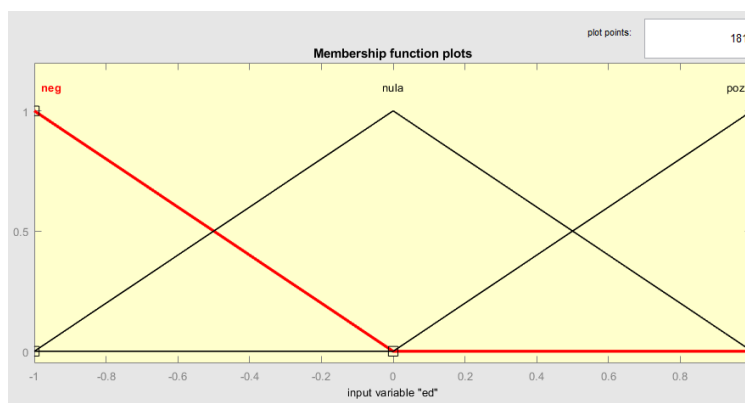


Figure 12: Fuzzy skupovi signala promene greške u fuzzy PD kontroleru

Novi korišćeni set pravila je sledeći:

1. ako je $\hat{e} = neg$ i $\hat{e}_d = neg$ tada $\hat{u} = neg$
2. ako je $\hat{e} = neg$ i $\hat{e}_d = nula$ tada $\hat{u} = maloNeg$
3. ako je $\hat{e} = neg$ i $\hat{e}_d = poz$ tada $\hat{u} = nula$
4. ako je $\hat{e} = nula$ i $\hat{e}_d = neg$ tada $\hat{u} = maloNeg$
5. ako je $\hat{e} = nula$ i $\hat{e}_d = nula$ tada $\hat{u} = nula$
6. ako je $\hat{e} = nula$ i $\hat{e}_d = poz$ tada $\hat{u} = maloPoz$
7. ako je $\hat{e} = poz$ i $\hat{e}_d = neg$ tada $\hat{u} = nula$
8. ako je $\hat{e} = poz$ i $\hat{e}_d = nula$ tada $\hat{u} = maloPoz$
9. ako je $\hat{e} = poz$ i $\hat{e}_d = poz$ tada $\hat{u} = poz$

Izlaz ovako dobijenog sistema se može videti na sledećem grafiku:

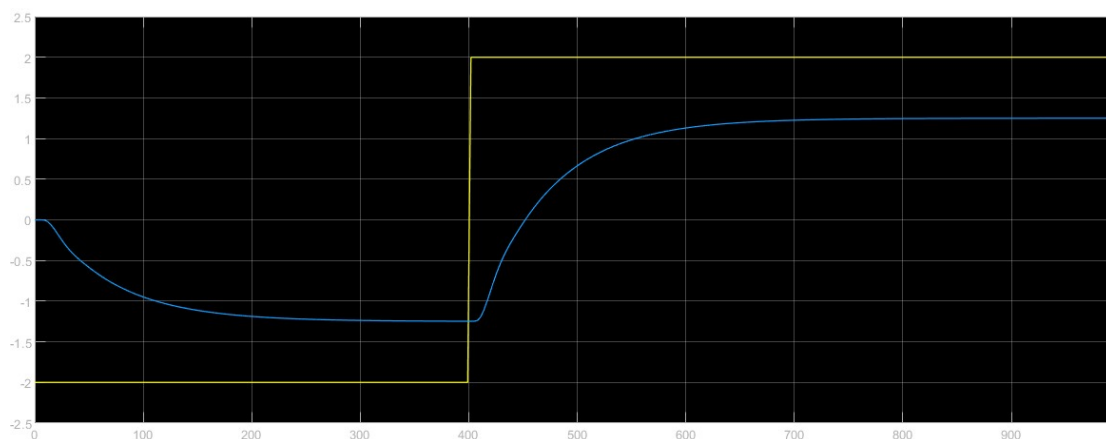


Figure 13: Odziv sistema korišćenjem fuzzy proporcionalno-diferencijalnog kontrolera

Na prethodnom grafiku vidimo referentni signal(žuto) i dobijeni izlaz sistema(plavo). Može se primetiti da je u odnosu na slučaj sa samo proporcionalnim dejstvom sistem sporiji, što doprinosi da više nema preskoka. Međutim, sistem i dalje nema nultu grešku u stacionarnom stanju što će kasnije biti rešeno dodavanjem astatizma, to jest integralnog dejstva.

Na sledećem grafiku je prikazano upravljanje, to jest izlaz iz kontrolera:

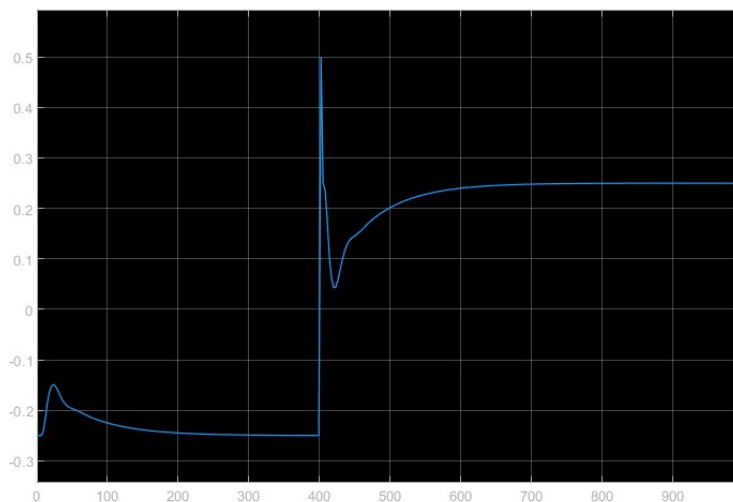


Figure 14: Signal na izlazu iz fuzzy proporcionalno-diferencijalnog kontrolera

Iako upravljanje jeste ograničeno na željeni opseg blokom za saturaciju, u ovom slučaju to nema uticaja jer sam signal upravljanja svakako ne izlazi iz zadatih granica.

Na naredna dva grafika su prikazani signali greške i promene greške koji su dovedeni na ulaz kontrolera, i to pre i posle bloka za saturaciju:

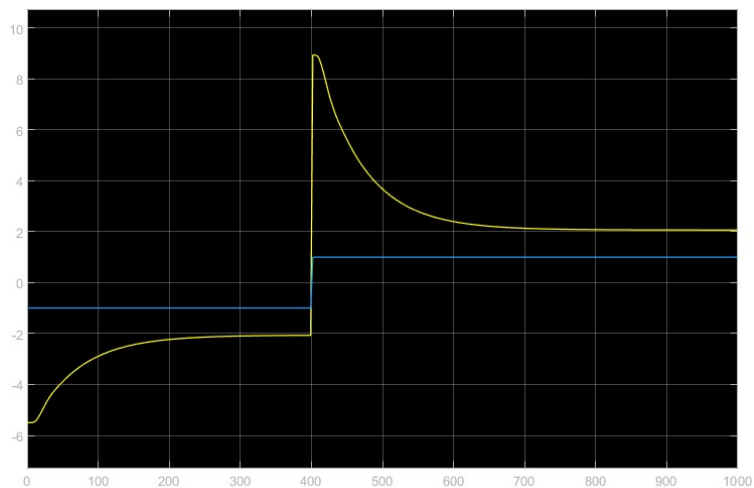


Figure 15: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler (greška)

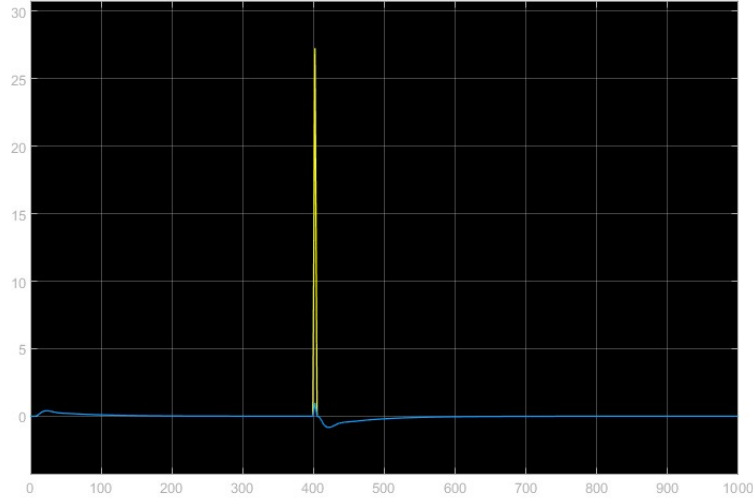


Figure 16: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler (promena greške)

Na oba prethodna grafika su greška i promena greške dati žutom bojom dok su saturisani signali dati plavom. Vidimo da oba signala izlaze iz opsega definisanih univerzuma što je rešeno njihovim odsecanjem. Ovo je veoma izraženo kod signala promene greške kod koga se javlja pojava diferencijalnog udara, to jest velikog skoka u trenutku promene reference, što je svakako nešto što bismo želeli da odstranimo, što je još jedna prednost saturacije.

Naredni korak je upotpunjavanje fuzzy PID kontrolera dodavanjem integralnog dejstva. Međutim, ukoliko bismo pravili fuzzy PID kontroler sa tri ulaza za sva tri dejstva, set pravila bi postao prekomplikovan. Iz tog razloga će se integralno dejstvo izdvojiti van fuzzy kontrolera i dodati kao nova komponenta upravljanja na upravljanje dobijeno iz fuzzy kontrolera, dok će sam fuzzy kontroler ostati potpuno isti kao u prethodnom slučaju. Ovaj model se može videti na sledećoj slici:

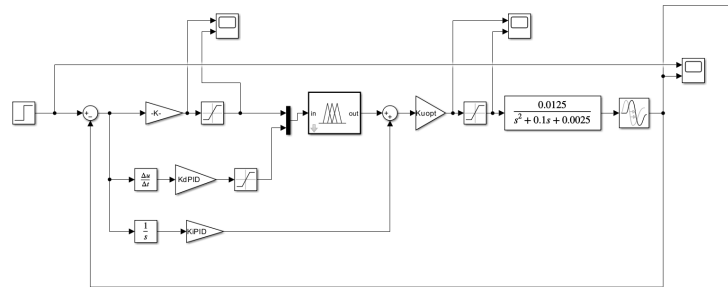


Figure 17: Fuzzy proporcionalno-integralno-diferencijalni kontroler

Integralno upravljanje se u diskretnoj realizaciji dobija aproksimacijom integracije unazad:

$$u_{ik} = u_{i(k-1)} + \frac{K_p T_s}{T_i} e_k \quad (7)$$

Kako je integralno dejstvo nezavisno od fuzzy PD kontrolera, ne postoji unapred predviđena granica opsega \hat{u} , na osnovu koje bismo mogli da usvojimo \hat{K}_u . Podešavanje parametara se može izvesti korišćenjem granica univerzuma ulaza u fuzzy kontroler na dalje objašnjen način.

Naime, kako je postavkom zadatka rečeno da je referenca u opsegu $r \in [-2, 2]$, pretpostavljamo da se i izlaz y nalazi u istom opsegu. Iz tog razloga se greška nalazi u opsegu $e \in [-4, 4]$. Kako je univerzum greške u fuzzy

kontroleru $[-1, 1]$, greška se mora skalirati na ove vrednosti. Zato je $\hat{K}_p = 0.25$. Dalje se parametri računaju sledećim formulama:

$$\hat{K}_u = \frac{K_p}{\hat{K}_p} = 2.7504 \quad (8)$$

$$\hat{K}_d = \frac{K_p}{\hat{K}_u T_i} = 1.8597 \quad (9)$$

$$\hat{K}_i = \frac{K_p T_d}{\hat{K}_u} = 0.0084 \quad (10)$$

Svakako, kako konačno upravljanje ne bi izašlo iz zadatog opsega, kao i signal greške ili signal promene greške, svi ti signali su ograničeni blokom za saturaciju.

Izlaz ovako projektovanog sistema je dat na sledećoj slici:

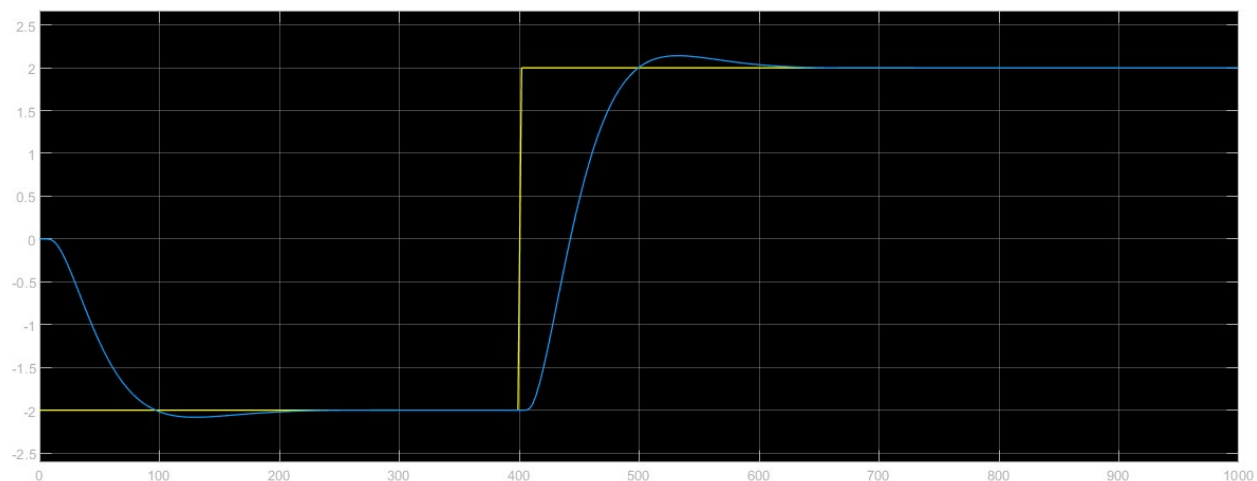


Figure 18: Odziv sistema korišćenjem fuzzy PID kontrolera

Na prethodnom grafiku vidimo referencu(žuto) i izlaz sistema(plavo). Dodavanjem integralnog dejstva se postiže nulta greška u stacionarnom stanju, a zbog diferencijalnog dejstva nije veliki preskok. Loša strana ovakvog upravljanja je to što je sistem relativno spor i veoma mu je veliko vreme uspona, ali je ovde podešen mali preskok na uštrb brzine sistema.

Na sledećem grafiku je dato ukupno upravljanje, što je u ovom slučaju suma izlaza iz fuzzy kontrolera i integralnog dejstva:

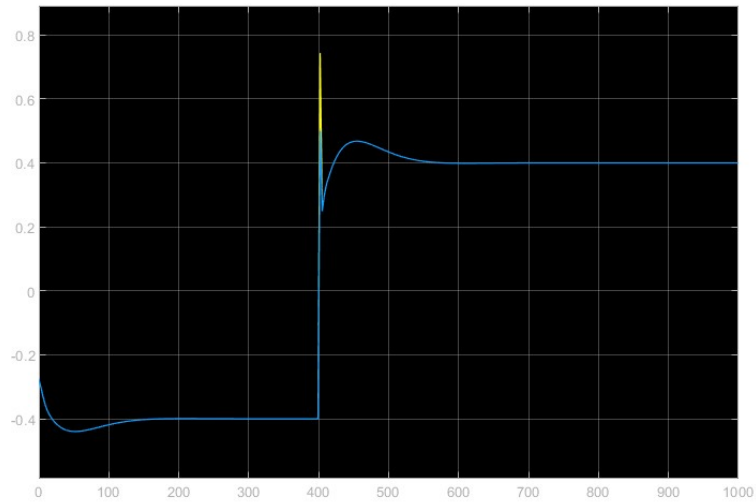


Figure 19: Signal na izlazu iz fuzzy PID kontrolera

U ovom slučaju je uočljiva saturacija(plavo) dobijenog upravljanja(žuto). Na naredna dva grafika su prikazani signali greške i promene greške koji su dovedeni na ulaz kontrolera, i to pre i posle bloka za saturaciju:

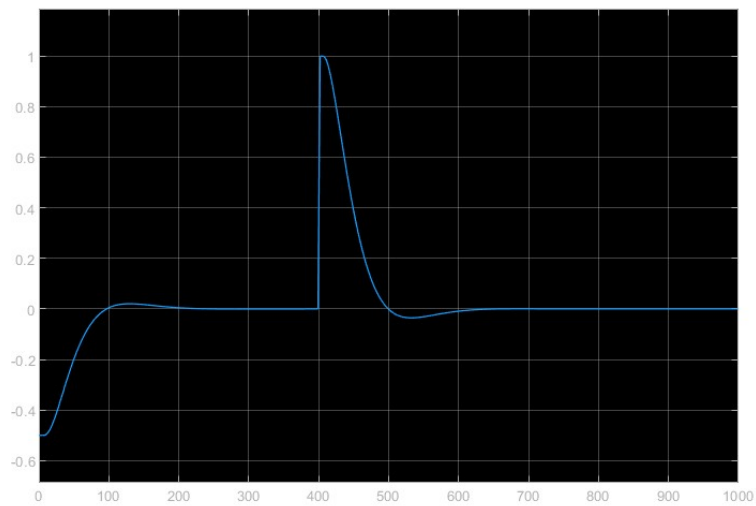


Figure 20: Signal na ulazu u fuzzy PID kontroler (greška)

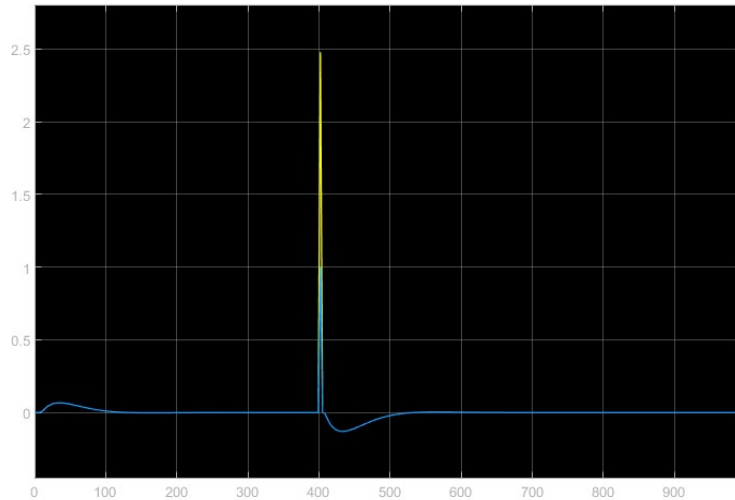


Figure 21: Signal na ulazu u fuzzy PID kontroler (promena greške)

Ponovo vidimo da sam signal greške ne izlazi iz zadatog okvira, što je i očekivano jer su svi parametri podešeni u skladu sa time. Sa druge strane na diferencijalnom dejstvu se ponovo vidi diferencijalni udar, koji je rešen saturacijom.

Naredni korak u proceduri projektovanja je uvođenje nelinearnosti u kontroler. U tom slučaju izlazna upravljačka površina više nije linearna već postaje nelinearna. To se postiže novim ulaznim skupovima i za grešku i za promenu greške, gde je u oba slučaja potpuno isključen skup *nula* i promenjene su funkcije sa linearnih na segmente sinusnih funkcija. Novi ulazni skupovi se mogu videti na sledećoj slici:

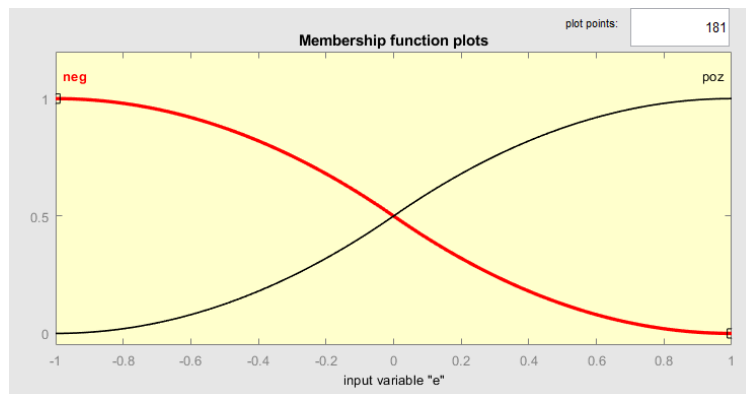


Figure 22: Fuzzy skupovi signala greške u nelinearnom fuzzy PID kontroleru

Model kojim se simulira upravljanje nelinearnim fuzzy PID kontrolerom je dat na sledećoj slici:

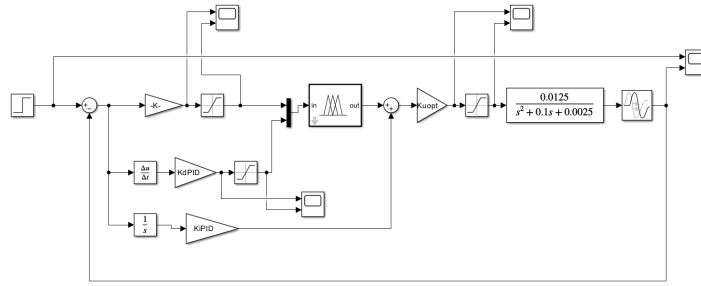


Figure 23: Nelinearni fuzzy proporcionalno-integralno-diferencijalni kontroler

Zbog izmenjenih ulaznih skupova, sada se menja i korišćen set pravila. Pravila za nelinearno upravljanje su sledeća:

1. ako je $\hat{e} = neg$ i $\hat{e}_d = neg$ tada $\hat{u} = neg$
2. ako je $\hat{e} = neg$ i $\hat{e}_d = poz$ tada $\hat{u} = nula$
3. ako je $\hat{e} = poz$ i $\hat{e}_d = neg$ tada $\hat{u} = nula$
4. ako je $\hat{e} = poz$ i $\hat{e}_d = poz$ tada $\hat{u} = poz$

gde univerzumi i izlaznih i ulaznih skupova ostaju isti.

Kao poslednji korak smo pokušali da ručno podesimo parametre kako bi izlaz što bolje pratio referencu i jedini parametar koji je promenjen u odnosu na linearni PID fuzzy kontroler je $\hat{K}_{opt} = 0.2\hat{K}_u = 0.5501$.

Izlaz ovako projektovanog sistema je dat na sledećoj slici:

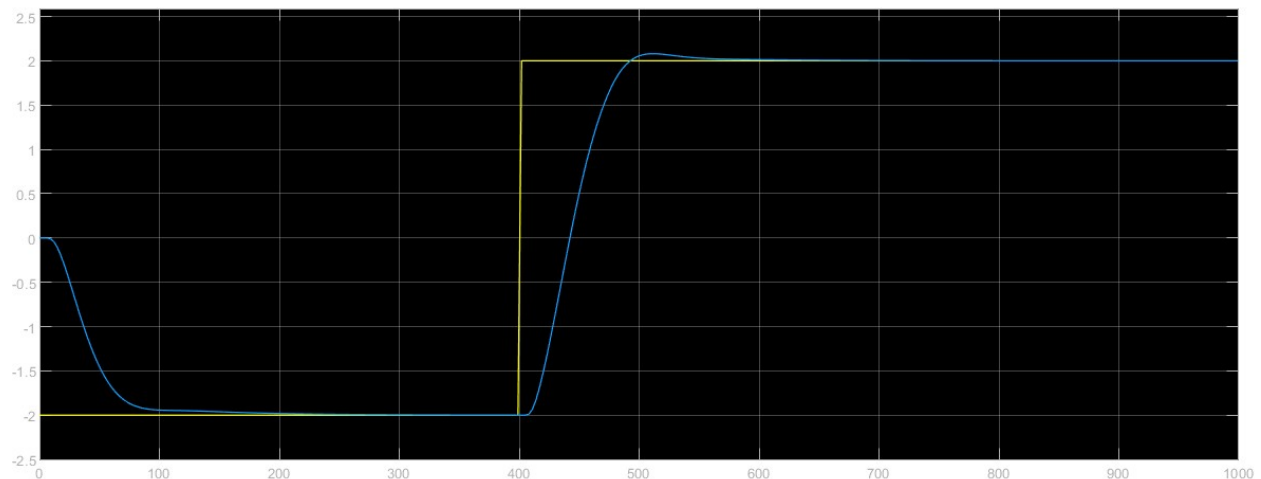


Figure 24: Odziv sistema korišćenjem nelinearnog fuzzy PID kontrolera

Na prethodnom grafiku vidimo referencu(žuto) i dobijeni odziv(plavo). Vidimo da izlaz poprilično dobro prati referencu i preskok je gotovo potpuno eliminisan. Međutim, i dalje se u stacionarno stanje ulazi posle dosta vremena, što je posledica toga što su parametri podešeni tako da bi otklonili preskok.

Ukupno upravljanje je dato na sledećoj slici:

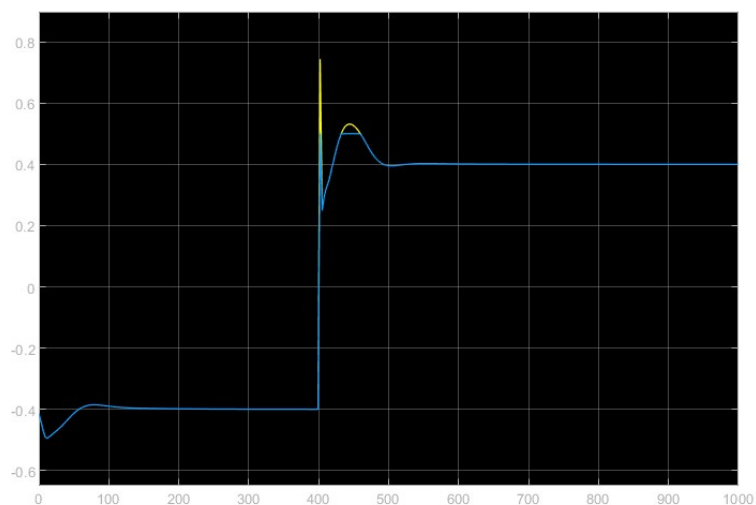


Figure 25: Signal na izlazu iz nelinearnog fuzzy PID kontrolera

Možemo videti da je ovaj put upravljanje(žuto) ograničeno blokom za saturaciju(plavo). Na naredna dva grafika se može videti ulaz u nelinearni fuzzy kontroler, to jest signal greške i signal promene greške:

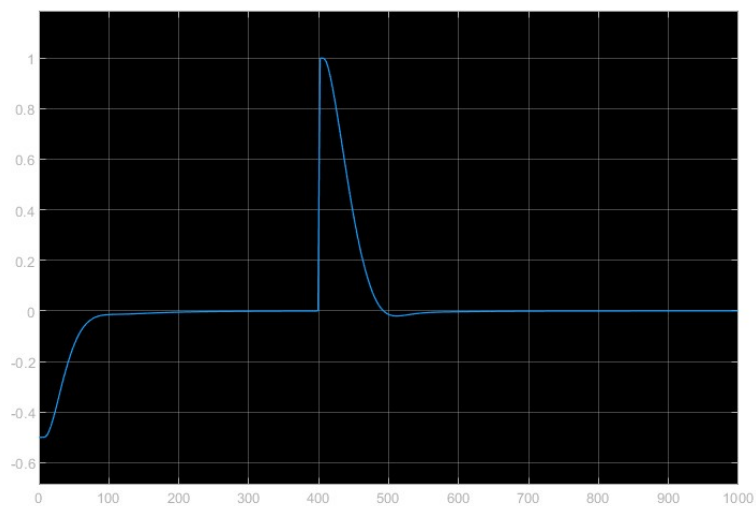


Figure 26: Signal na ulazu u nelinearni fuzzy PID kontroler (greška)

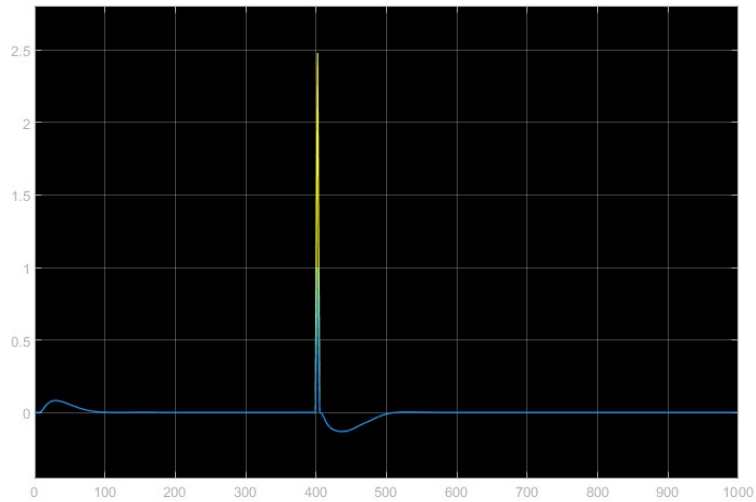


Figure 27: Signal na ulazu u nelinearni fuzzy PID kontroler (promena greške)

Vidimo da signali greške i njene promene izgledaju gotovo potpuno isto kao u slučaju linearnog kontrolera i da je ponovo blok za saturaciju otklonio diferencijalni udar, dok saturacija nije uticala na signal greške, jer su parametri i podešavani u skladu sa time.

3 Potiskivanje poremećaja

Za drugu tačku zadatka koristimo isti postupak projektovanja kontrolera, uz pomoć procesa fazifikacije. Za razliku od prve tačke, sada je referenca jednaka nuli, ali dovodimo poremećaj na ulaz u objekat upravljanja. Poremećaj ima početnu vrednost 0, a zatim u 100s skače na vrednost od 0.25, pa u 500s pada na -0.25. Na sledećem grafiku prikazan je odziv sistema na dati poremećaj, korišćenjem običnog PID kontrolera. Jasno vidimo da postoji neki poremećaj, ali da odziv uspeva da se smiri i nastavi da prati zadatu referencu.

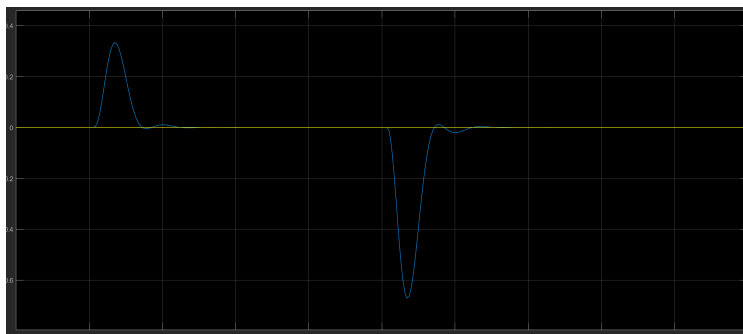


Figure 28: Odziv sistema na poremećaj korišćenjem klasičnog PID kontrolera

Sledeći korak je konstruisanje fuzzy proporcionalnog kontrolera, koji podešavamo isto kao i u prvoj tački zadatka. Na slici je prikazan odziv sistema na poremećaj. Primećujemo da sistem ima veliki preskok i oscilacije, koje je potrebno ukloniti uvođenjem diferencijalnog dejstva, kao i grešku u stacionarnom stanju, koju ćemo odstraniti integralnim dejstvom.

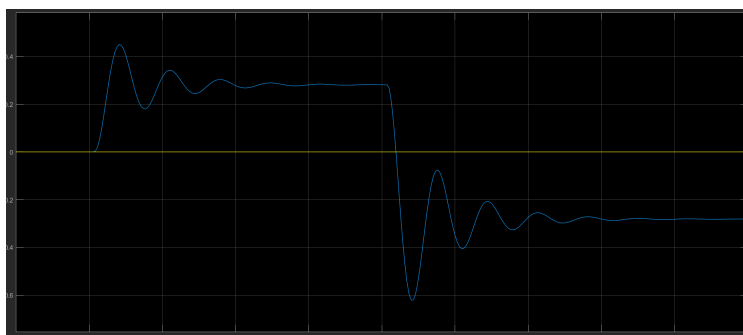


Figure 29: Odziv sistema na poremećaj korišćenjem fuzzy proporcionalnog kontrolera

Na narednim graficima prikazani su signali na neposrednom ulazu u fuzzy sistem, kao i na izlazu iz istog.

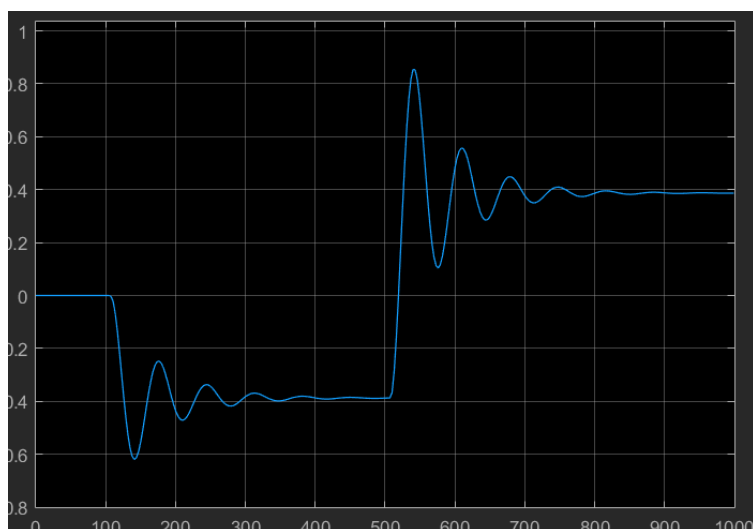


Figure 30: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalan kontroler

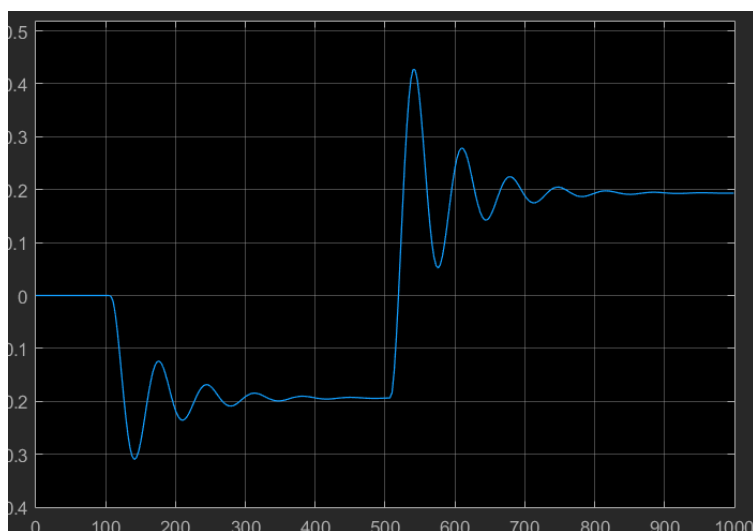


Figure 31: Signal na izlazu iz fuzzy proporcionalnog kontrolera

Naredni korak je dodavanje diferencijalnog dejstva čiji je cilj uklanjanje preskoka i usporavanje sistema. Izlaz ovakvog sistema je dat na sledećem grafiku:

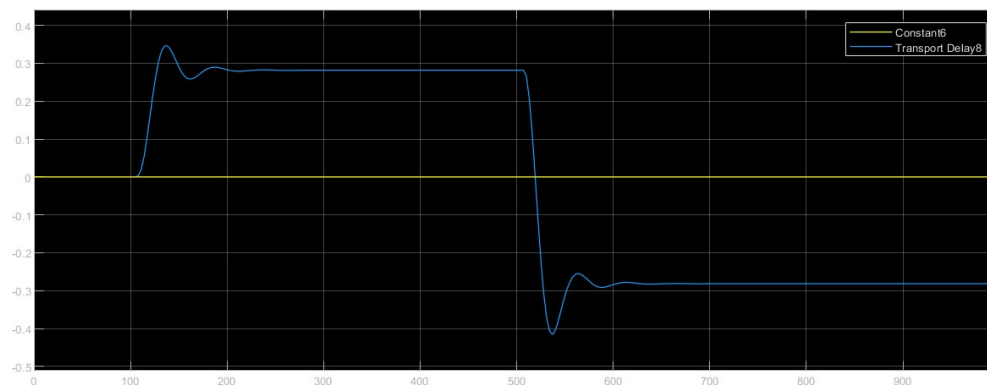


Figure 32: Odziv sistema na poremećaj korišćenjem fuzzy proporcionalno-diferencijalnog kontrolera

Izlaz kontrolera, kao i signal greške i promene greške su dati na sledećim graficima:

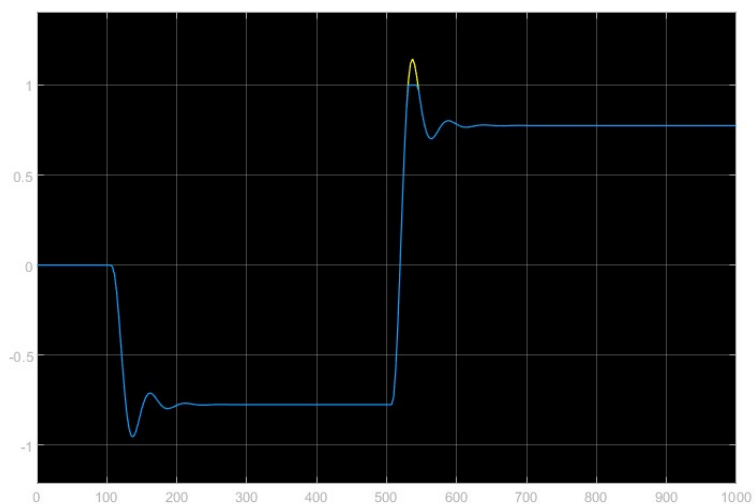


Figure 33: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler(greška)

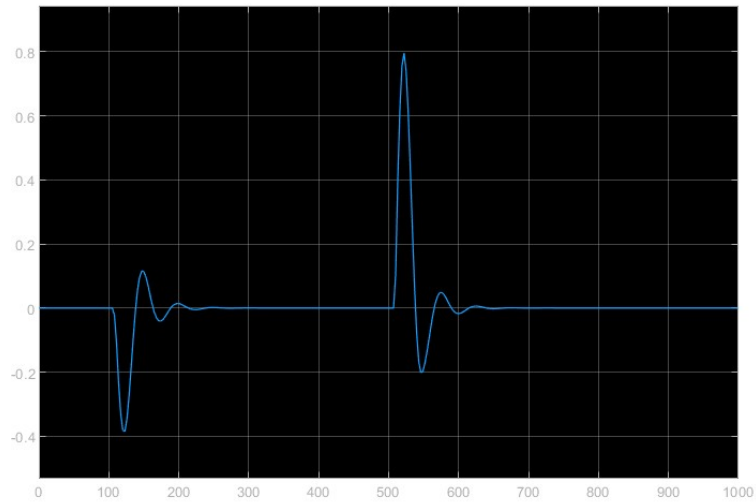


Figure 34: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalni kontroler(promena greške)

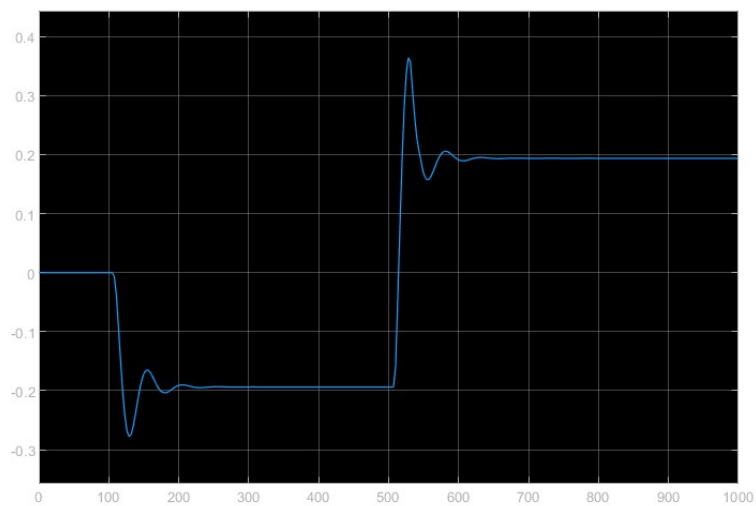


Figure 35: Signal na izlazu iz fuzzy proporcionalno-diferencijalnog kontrolera

Sledeći korak je uvođenje integralnog dejstva koje se uvodi na isti način kao i pre uvođenja poremećaja. I u ovom slučaju integralno dejstvo omogućava nultu grešku u stacionarnom stanju. Izlaz ovakvog sistema je dat na sledećem grafiku:

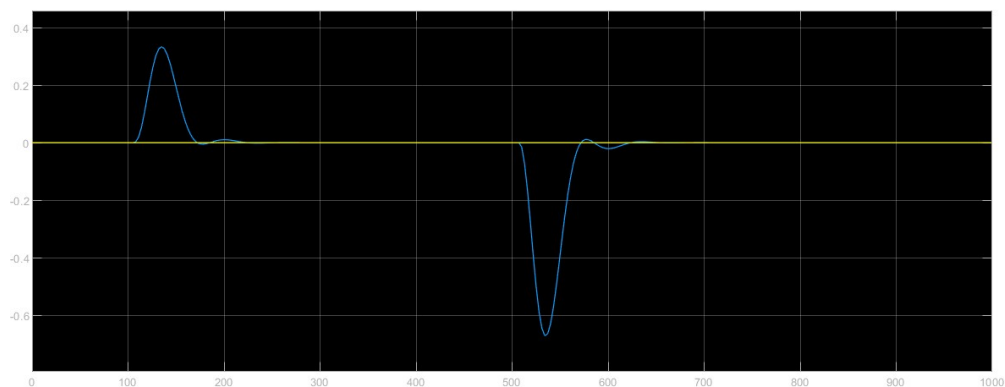


Figure 36: Odziv sistema na poremećaj korišćenjem fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralnog kontrolera

Izlaz kontrolera, kao i signal greške i promene greške su dati na sledećim graficima:

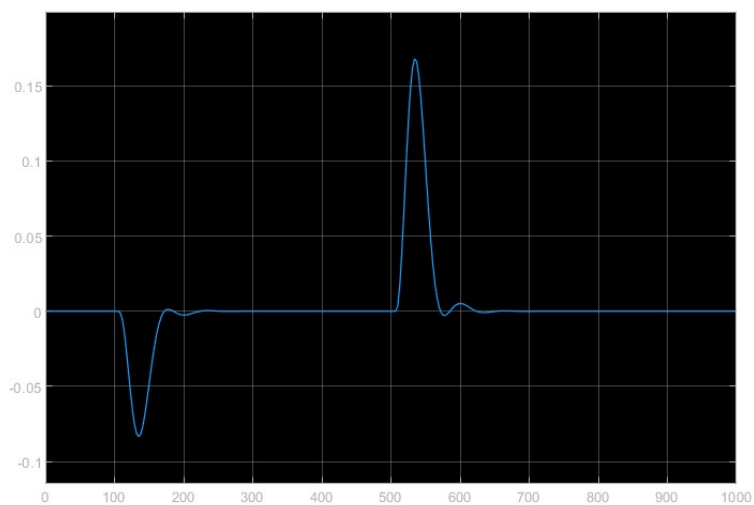


Figure 37: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralni kontroler(greška)

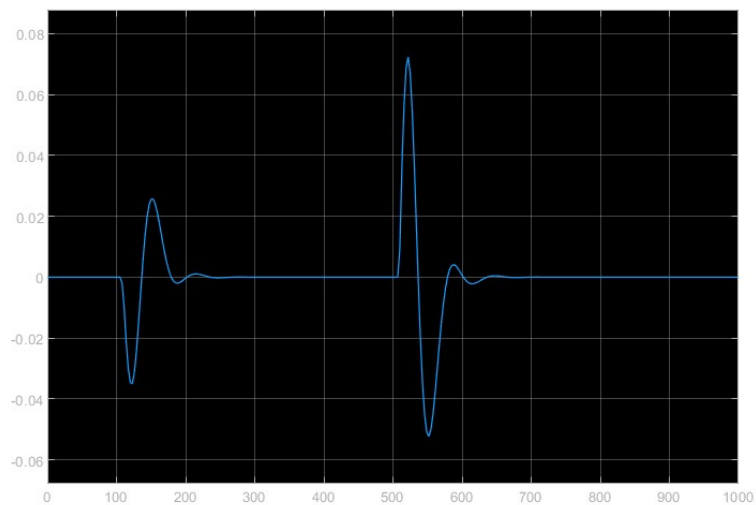


Figure 38: Signal na ulazu u fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralni kontroler(promena greške)

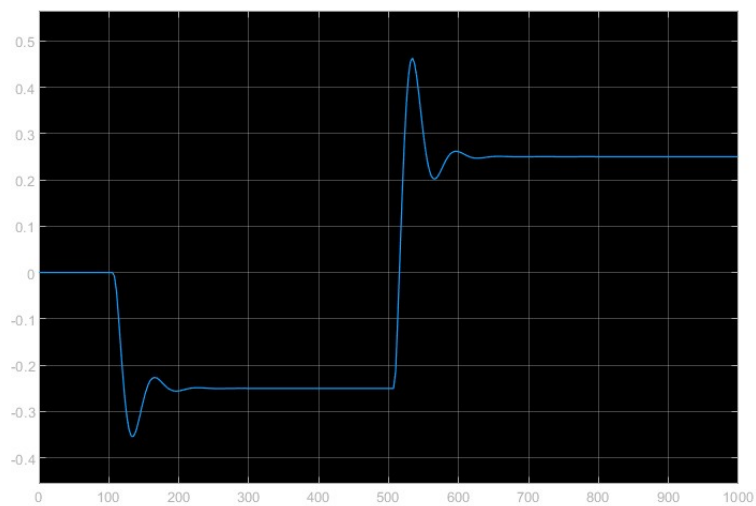


Figure 39: Signal na izlazu iz fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralnog kontrolera

Poslednji korak je dodavanje nelinearnosti u sistem kao i ručno podešavanje parametara. Konačni parametri su isti kao i u sistemu bez unete reference. Izlaz ovakvog sistema je dat na sledećem grafiku:

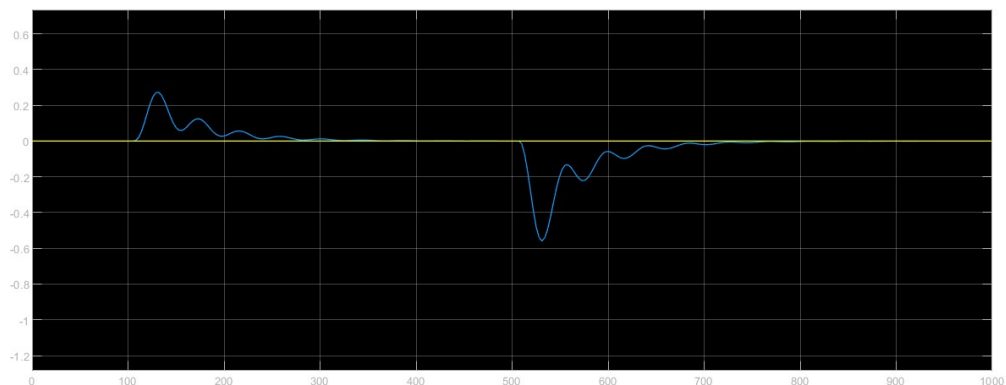


Figure 40: Odziv sistema na poremećaj korišćenjem nelinearnog fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralnog kontrolera

Izlaz kontrolera, kao i signal greške i promene greške su dati na sledećim graficima:

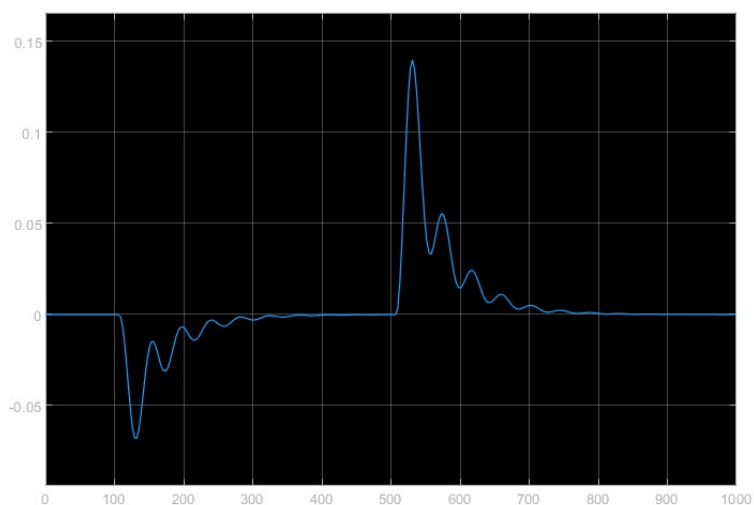


Figure 41: Signal na ulazu u nelinearni fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralni kontroler(greška)

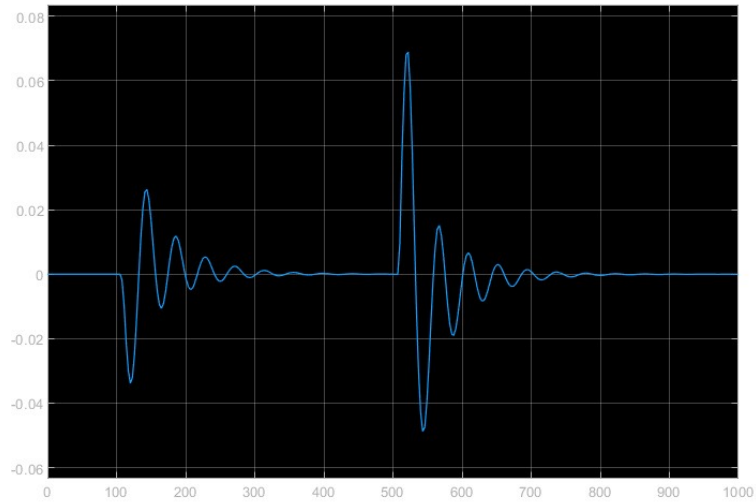


Figure 42: Signal na ulazu u nelinearni fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralni kontroler(promena greške)

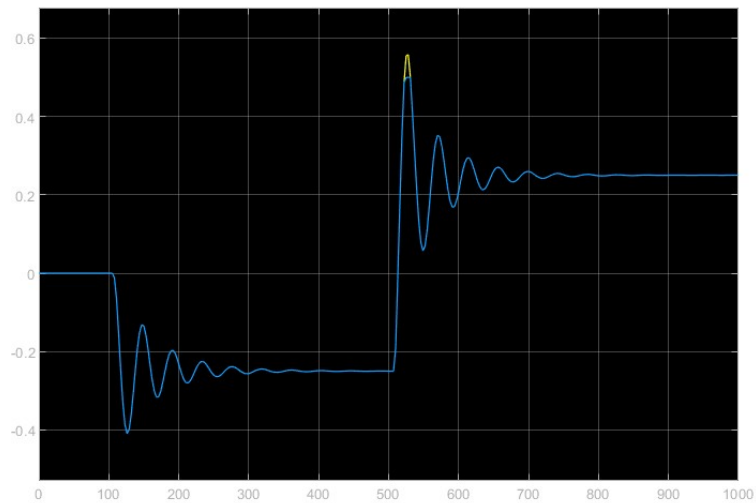


Figure 43: Signal na izlazu iz nelinearnog fuzzy proporcionalno-diferencijalno-integralnog kontrolera