

Електротехнички факултет

Универзитет у Београду

Други пројектни задатак из предмета
Неуралне мреже
-Fuzzy логика-

Студенти:

Марина Свилар 2020/0411

Теодора Предојевић 2020/0447

Број задатка = 6

Јануар, 2024. година, Београд

Садржај

Дефинисање захтева задатка.....	2
Прављење конвенционалног PID контролера	3
Прављење линеарног fuzzy контролера.....	5
Прављење нелинеарног fuzzy PID контролера	14
Систем за потискивање поремећаја	18
Закључак	21
Литература.....	21

Дефинисање захтева задатка

Определити се за један од приступа пројектовању fuzzy управљања: интуитивни или фазификација конвенционалног управљања. У складу са опредељењем, пројектовати по избору један систем fuzzy управљања за праћење референтне вредности објекта управљања задатог варијантом В. Поступак пројектовања, усвојену структуру и конкретно подешавање параметара регулатора навести у извештају. Направити Симулинк модел система управљања задатим објектом у затвореној спрези. Реализовати одзив на степ референтне вредности са минималне вредности на максималну вредност.

Објекат управљања:

$$G(s) = \frac{0,05}{s^2 + 0.1s + 0.01} e^{-2s}$$

Опсег референце: од -25 до 25

Ограничење управљања: од -12 до 12

Одлучујемо се за фазификацију конвенционалног управљања, те ћемо спровести неколико корака како бисмо добили што лепши жељени одзив.

Прављење конвенционалног PID контролера

PID контролер је веома често коришћен у системима управљања. Састоји се из три дела, пропорционалног, диференцијалног и интегралног. Сваки од тих делова има одређену улогу и доприноси успешности управљања. Међутим, колико доброга неки параметар донесе, толико може и наудити перформансама система или чак угрозити стабилност самог система због чега је важно да се правилно одреде параметри контролера.

Закон управљања идеалног континуалног PID контролера:

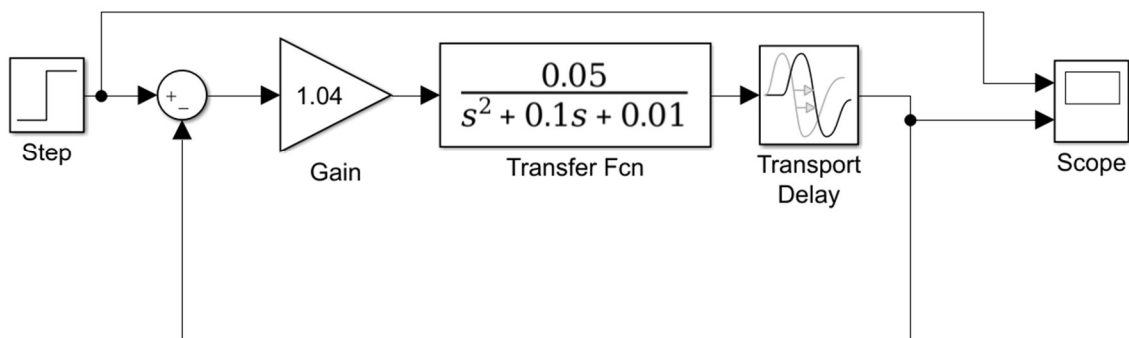
$$u = K_p \left(e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \cdot d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

Почетно подешавање параметара методом Ziegler-Nicholsa

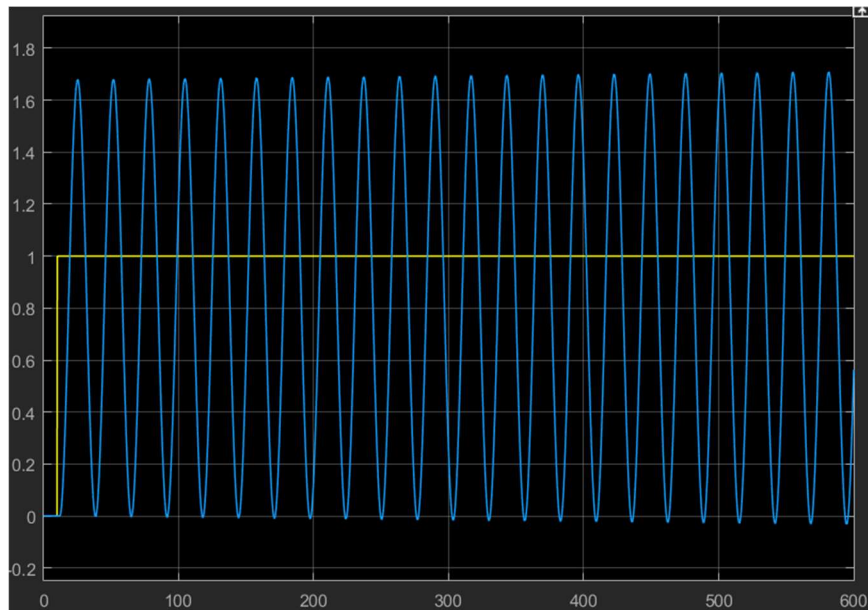
Формирамо систем затворене повретне спреге са нашим процесом и пропорционалним појачањем испред, K , те посматрамо излаз система при повећавању вредности K чекајући да систем дође на границу стабилности, односно да почне да осцилује. Када се то догоди, узимамо ту вредност K као K критично, меримо периоду добијених осцилација што ће нам бити T критично и на основу тих параметара и правила Ziegler-Nicholsa датих у табели 1, одређујемо почетне вредности нашег PID контролера.

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

Табела 1 – правила Ziegler-Nicholsa



Слика 1 Тражење K критично



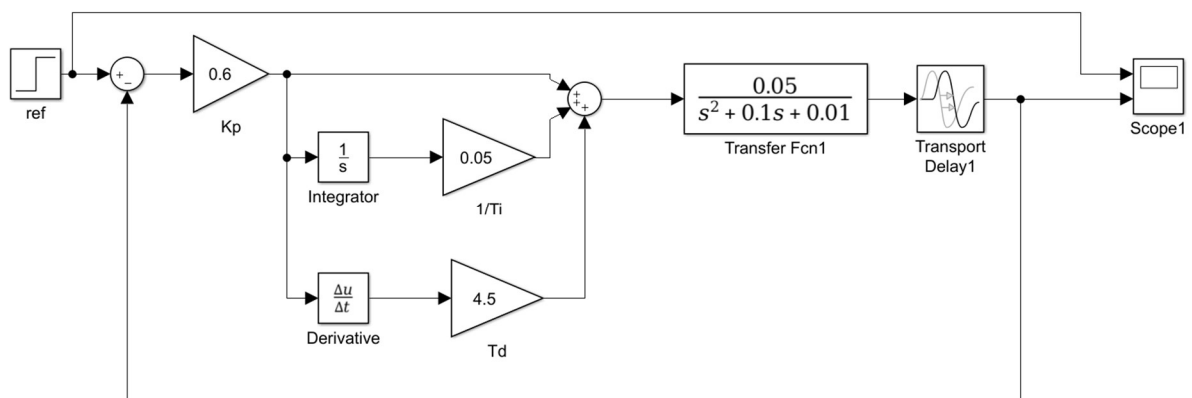
Слика 2 Одзив система на граници стабилности

Са претходних слика примећујемо да је наше K критично 1.04, док је T критично око 26,5 секунди. Из ових вредности се добијају следећи параметри PID контролера:

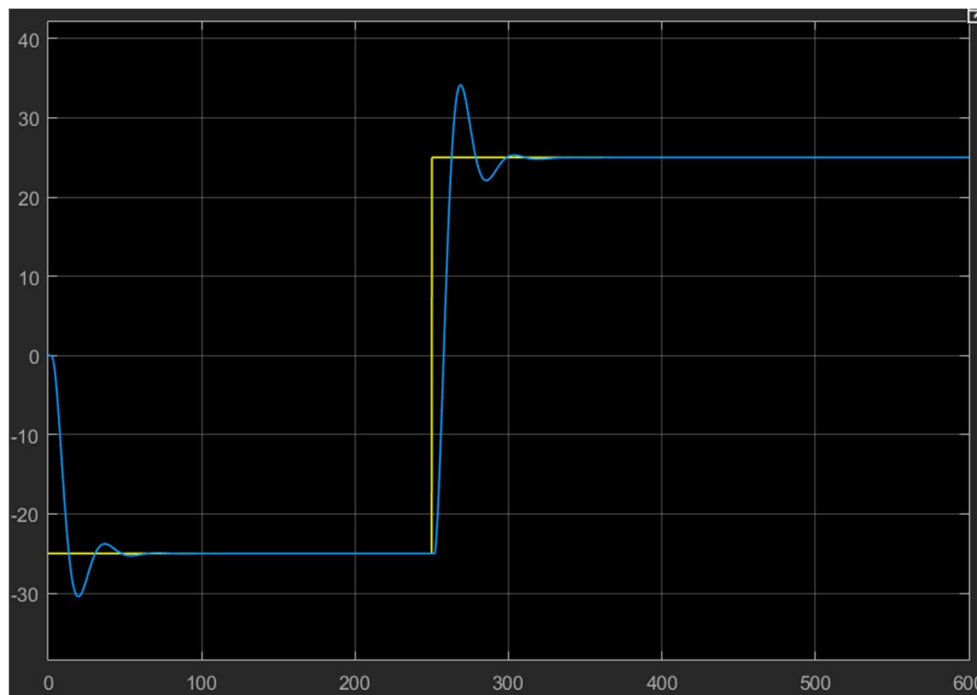
$$K_p = 0.624; \quad T_i = 13.25; \quad T_d = 3.3125$$

Међутим, како су ово само оквирне вредности за параметре, ми се опредељујемо да их мало коригујемо у жељи да побољшамо одзив. Након пар измена, долазимо до закључка да су лепе особине показале следеће вредности:

$$K_p = 0.6; \quad 1/T_i = 0.05; \quad T_d = 4.5$$



Слика 3 Конвенционални PID контролер



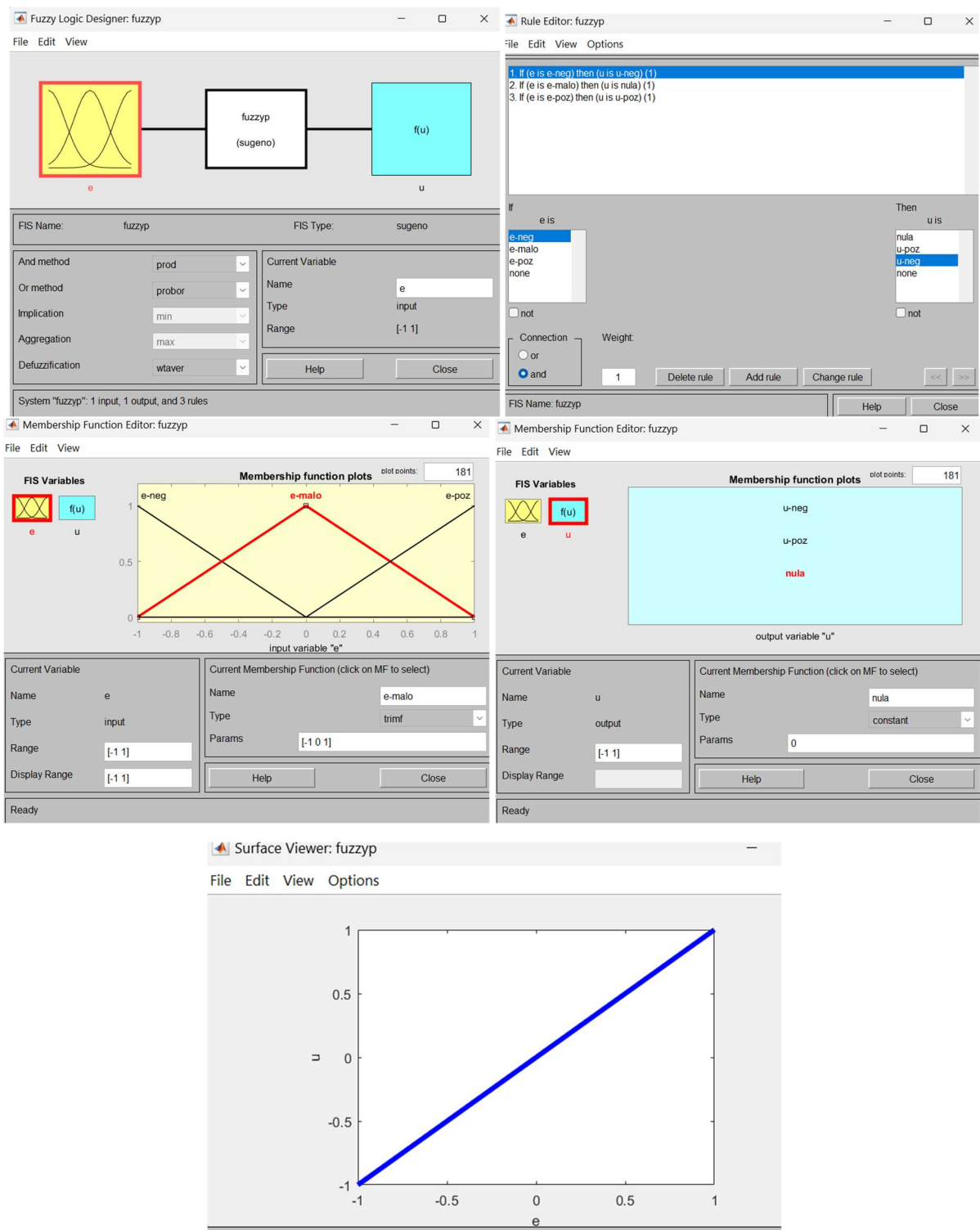
Слика 4 Одзив конвенционалног PID контролера

Прављење линеарног fuzzy контролера

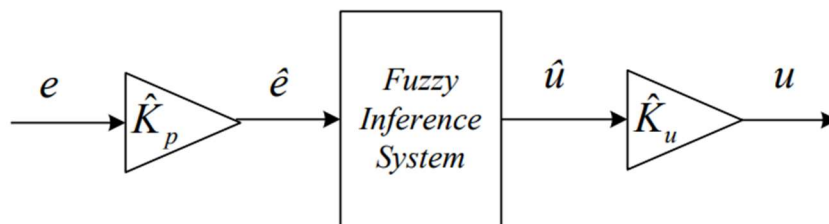
Правимо линеарни fuzzy контролер којим ћемо заменити претходно пројектовани PID контролер. Како се ради о линеарном контролеру, зависност управљања од грешке, добијена дефинисањем одређених правила ће бити линеарна. Битне смернице при овом делу пројектовања су: да се користи Сугенова машина чији ће универзум да буде величине суме улазних универзуме, да се користе троугаоне улазне функције припадања са нивоом преклапања 50% основе троуглова, да правила морају бити and комбинација свих чланова из улазних фамилија и да је то and реализовано као алгебарски производ.

Пропорционално управљање

Као и свако пропорционално управљање, тако и ово fuzzy, представља најједноставнију варијанту fuzzy управљања. Разлика обичног и овог fuzzy пропорционалног лежи у томе да конвенционални контролер има једно појачање, док fuzzy има два појачања, те тиме добијамо додатни степен слободе како бисмо побољшали перформансе, рецимо да искористимо цео опсег дозвољеног управљања. Улазни универзум скалирамо на вредности од -1 до 1 чиме добијамо општост fuzzy блока, док нам излазни универзум, пратећи правило да мора бити збир улазних универзума, иде исто од -1 до 1. Поштујући све претходно наведено, креирамо fuzzy блок за управљање приказан на слици 5.



Слика 5 Fuzzy P блок



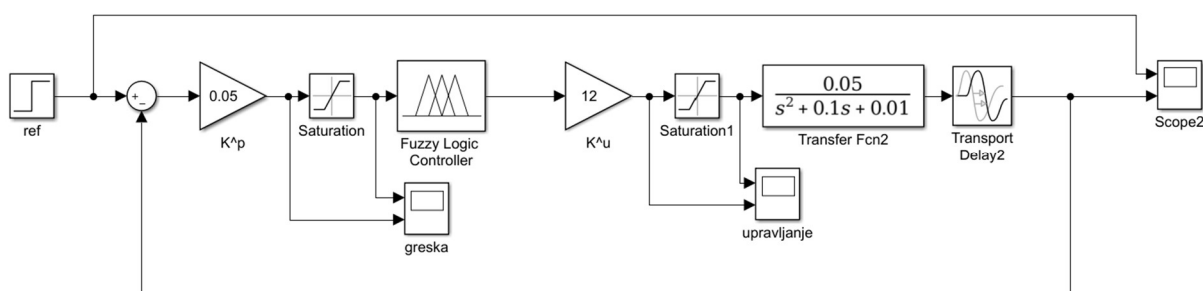
Слика 6 Изглед fuzzy P контролера

Као што видимо на слици 6, улаз у контролер је сигнал грешке ($e = r - y$), док је излаз управљање. Пошто смо у fuzzy блоку нормализовали улазе и излаз користимо e и u са капицом као непосредне улазе и излазе блока. Можемо повезати коефицијент пропорционалног дејства конвенционалног PID контролера са коефицијентима K_p и K_u са капицом следећом релацијом:

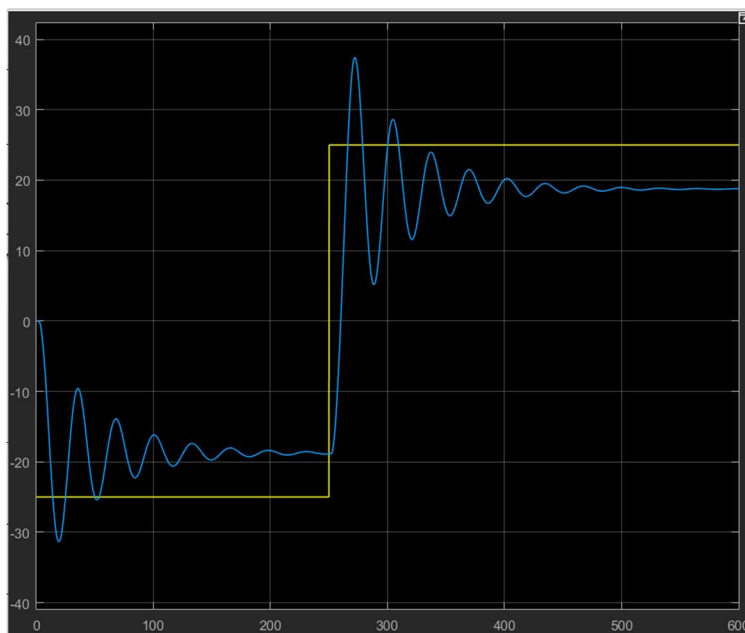
$$K_p = \hat{K}_p \hat{K}_u$$

Ову релацију добијамо посматрајући излаз из система на слици 6. Наиме, имамо да је излаз $u = \hat{K}_u \cdot f(\hat{K}_p \cdot e)$, а ако узмемо у обзир и да смо пројектовали линеарну зависност између управљања и грешке, сводимо претходни израз на $u = \hat{K}_u \cdot \hat{K}_p \cdot e$, те када ово упоредимо са конвенционалним пропорционалним контролером долазимо до жељене релације.

Пошто нам је излаз из fuzzy блока на интервалу од -1 до 1, а опсег могућег управљања иде од -12 до 12, можемо фиксирати K_u са капицом на вредност максималног управљања, односно $K_u = 12$. Када смо њега одредили, остаје нам само K_p са капицом, ког добијамо простим дељењем, односно $K_p = 0.05$.

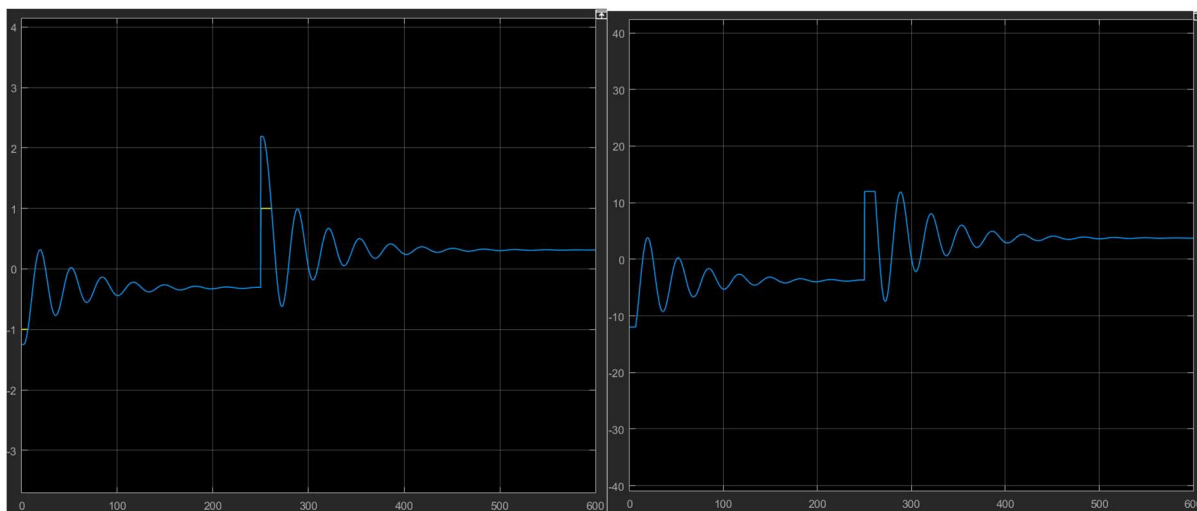


Слика 7 Пропорционално fuzzy управљање



Слика 8 Излаз система управљања и референца

Како имамо само пропорционално дејство, јасно нам је да систем не може достићи задату вредност у стационарном стању, а такође се јављају и пригушене осцилације, које су мало превише изражене.



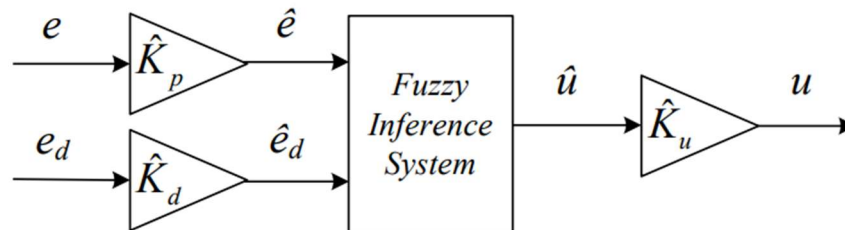
Слика 9 Лево - сигнал грешке пре и након ограничења максималне вредности због улазног универзума блока, Десно - управљање пре и након ограничења

Са слике 9 видимо да сигнал грешке неко време улази у засићење. Ако мислимо да је предуго у засићењу, могли бисмо да смањимо K_p са капицом, што би као последицу имало да цео систем постаје нешто спорији, са већом грешком у стационарном стању, али са мање израженим осцилацијама. Међутим, тренутно сматрамо да је ово прихватљиво.

Што се тиче управљања, како смо фиксирали K_u са капицом на вредност максималног управљања, јасно је да добијамо исту вредност и пре и после сатурације.

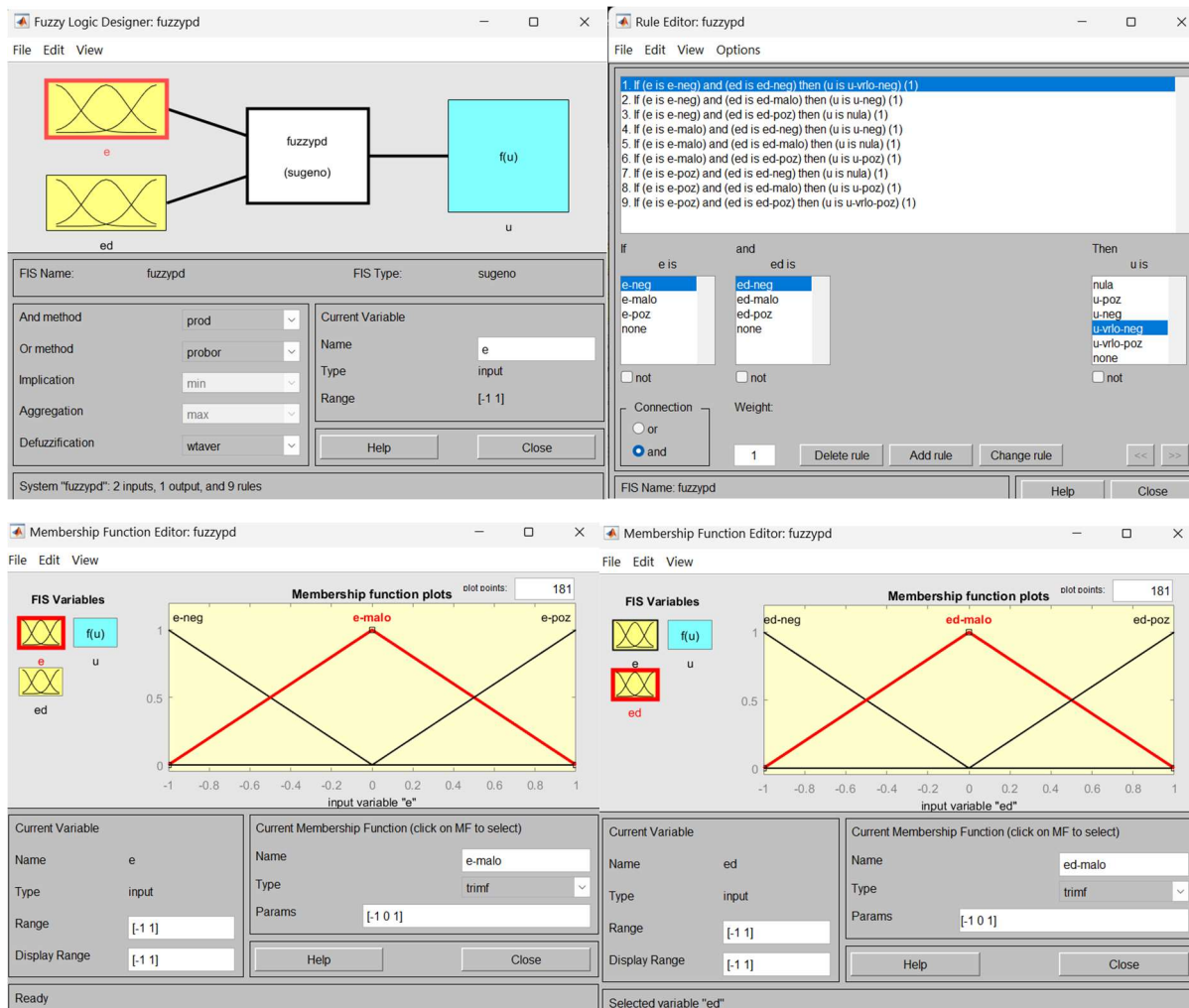
Додавање диференцијалног дејства

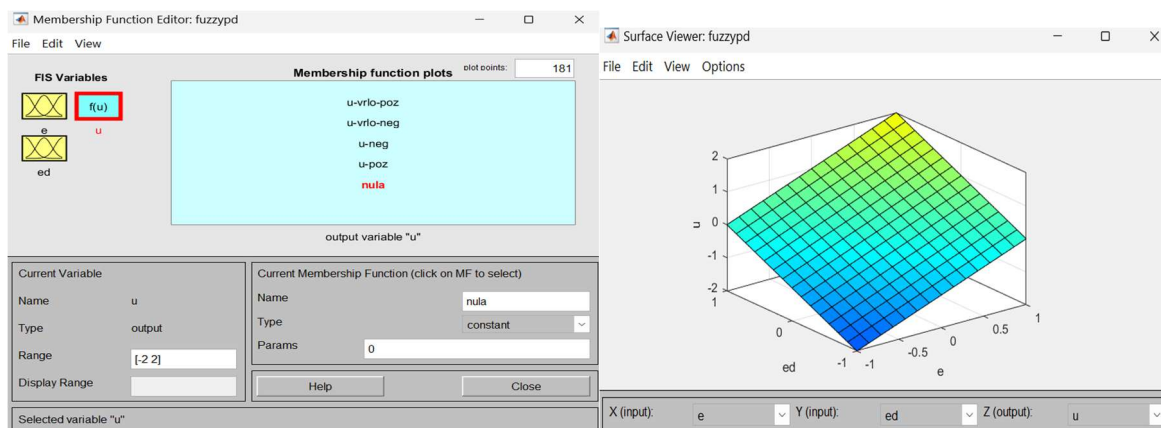
Видевши из претходне анализе да се јављају пригушене осцилације на излазу, додајемо и диференцијално дејство у наш систем управљања како бисмо покушали да их смањимо и предвидимо понашање система. За то диференцијално дејство нам је потребан додатни улаз у fuzzy inference блок који представља извод сигнала грешке, приказано на слици испод.



Слика 10 Изглед fuzzy PD контролера

Потпуно аналогно као код fuzzy P контролера, и овде ограничавамо улазне универзуме на опсег од -1 до 1, али пошто сада имамо два улаза, излаз ће ићи од -2 до 2. Такође, користимо and везник за правила и комбинујемо све улазне скупове.





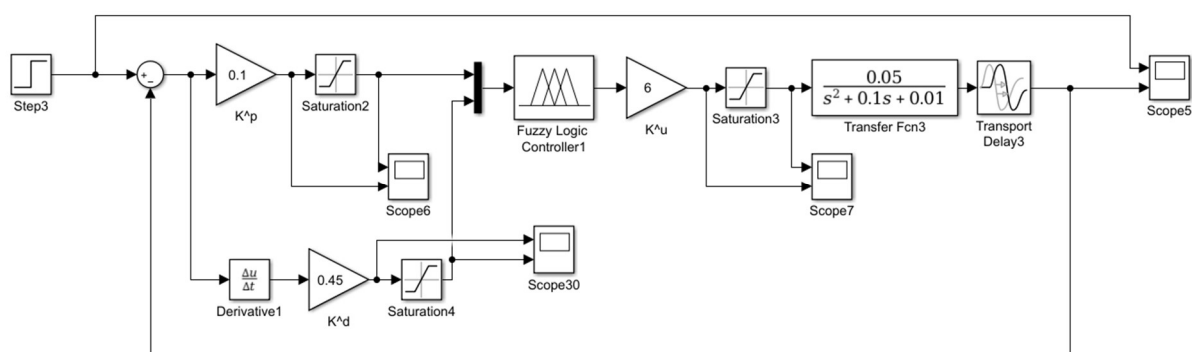
Слика 11 Fuzzy PD блок

Потпуно истим поступком као за само пропорционални контролер, добијамо да је управљање $u = \hat{K}_u \cdot f(\hat{K}_p e, \hat{K}_d e_d)$, али линеарном апроксимацијом се своди на $u = \hat{K}_u (\hat{K}_p e + \hat{K}_d e_d) = \hat{K}_p \hat{K}_u e + \hat{K}_d \hat{K}_u e_d$, те изједначавањем коефицијената са класичним PD контролером добијамо изразе за K_p , K_d и K_u са капицом. Пошто поново имамо ограничен излазни универзум, само је то сада од -2 до 2, да бисмо постигли пун оспег управљања, овога пута фиксирамо K_u као половину максималног управљања, односно 6. Пошто смо њега фиксирали, преостала два параметра можемо израчунати из следећих израза:

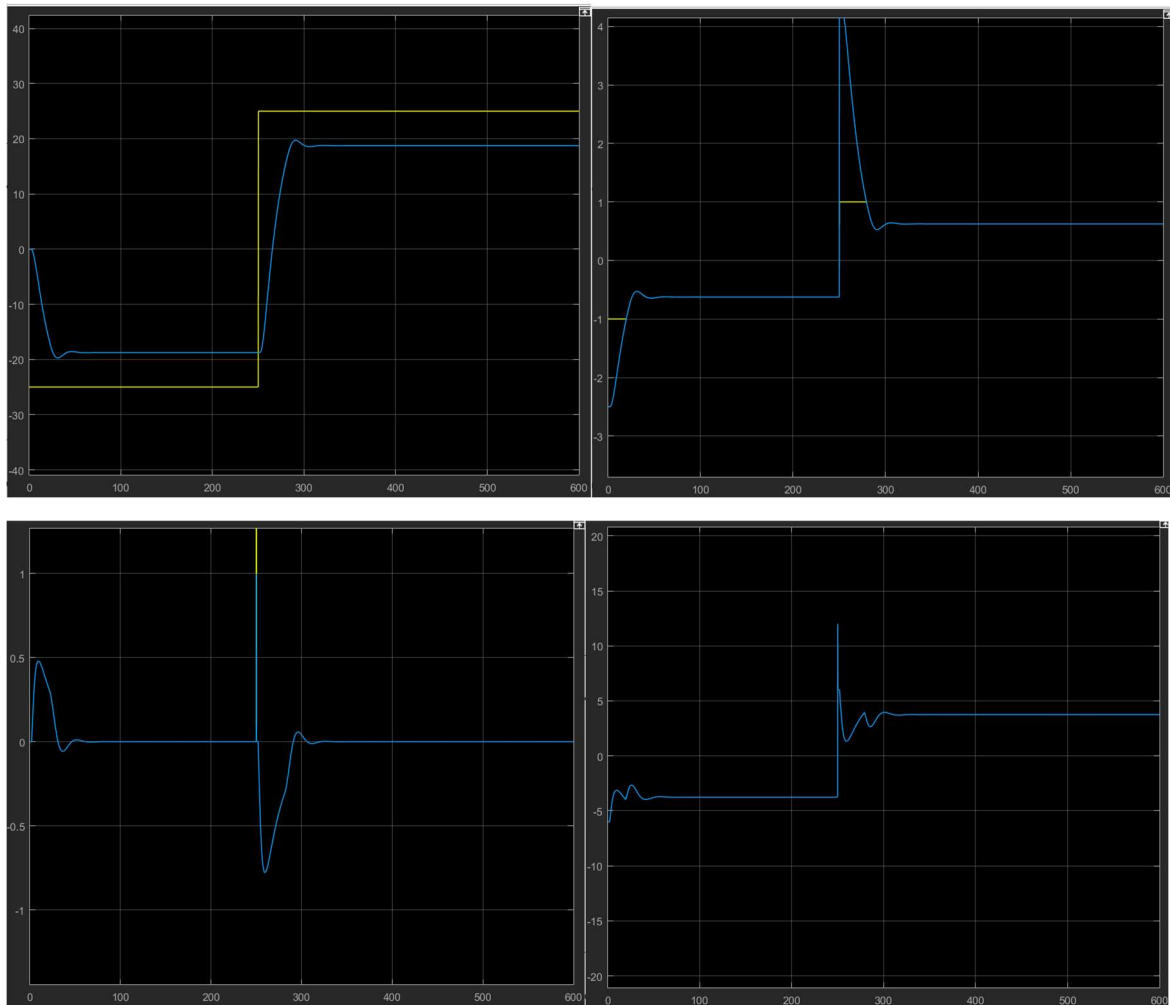
$$\hat{K}_p = K_p / \hat{K}_u$$

$$\hat{K}_d = K_p T_d / \hat{K}_u$$

Односно рачунањем, за K_p са капицом добијамо 0.1 и за K_d са капицом 0.45.



Слика 12 Систем управљања са PD дејством



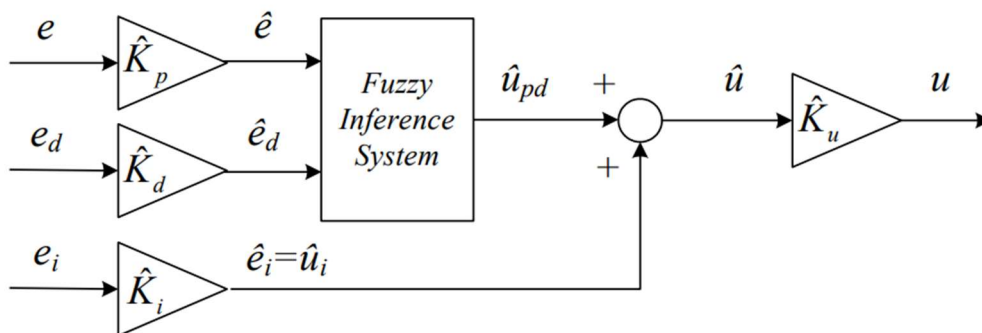
Слика 13 Горе лево - сигнал на излазу система и референца, Горе десно - сигнал грешке пре и после сатурације, Доле лево - сигнал извода грешке пре и након сатурације, Доле десно - управљање пре и након сатурације

Са слике 13 видимо да смо додавањем диференцијалног дејства успели да „испегламо“ осцилације које су постојале само са пропорционалним дејством, међутим, још имамо грешку у стационарном стању коју ћемо неутралисати додавањем интегралног дејства што ће нам бити следећи корак у прављењу нашег линеарног PID-а.

Са слике 13, такође, можемо уочити да обе вредности грешака доста улазе у сатурацију што можемо избећи смањивањем вредности K_p и K_d са капицом, али се због тога кваре и перформансе система.

Додавање интегралног дејства

Као што смо рекли, да бисмо спречили појаву грешке у стационарном стању, треба да додамо интегрално дејство. Ако бисмо њега додавали као улаз fuzzy блока, то би довело до превеликог броја правила и нејасноће међусобног утицаја. Зато је идеја да се интегрално дејство додаје у паралелу са претходно направљеним PD контролером.



Слика 14 Изглед fuzzy PID управљања

Аналогним поступком као у претходном разматрању, долази се до следећих релација између постојећих појачања:

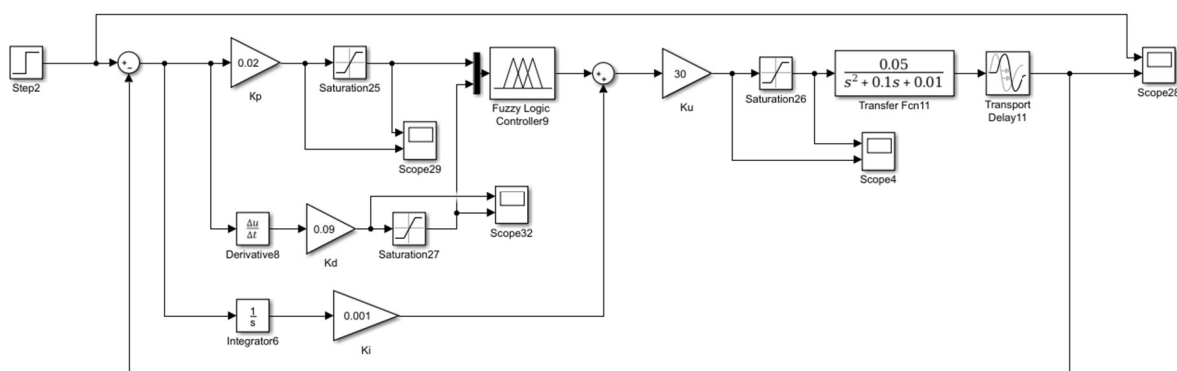
$$\hat{K}_p = K_p / \hat{K}_u$$

$$\hat{K}_d = K_p T_d / \hat{K}_u$$

$$\hat{K}_i = \frac{K_p}{T_i \hat{K}_u}$$

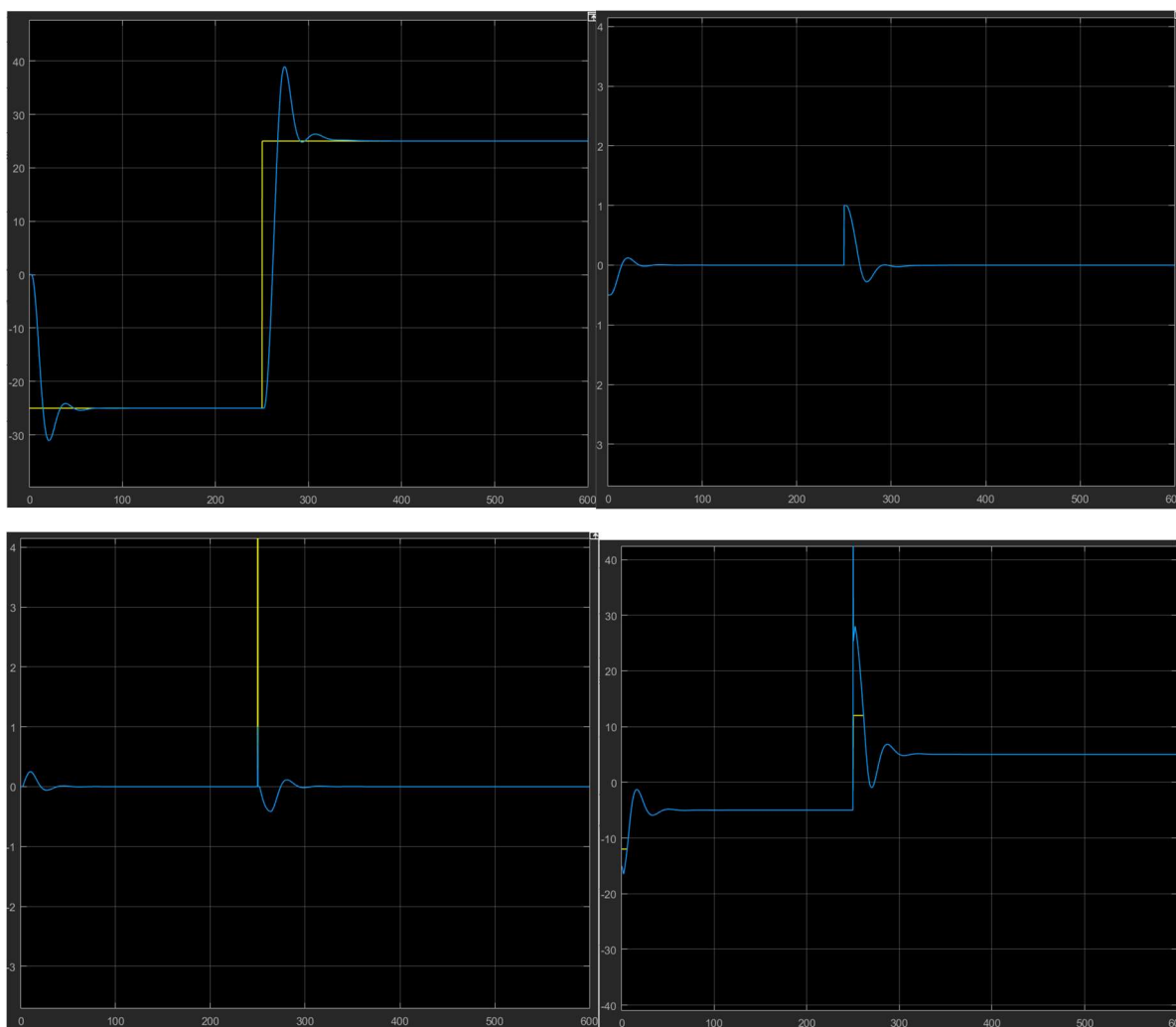
Међутим, овде не можемо фиксирати K_u са капицом јер иако знамо опсег излазног универзума, не знамо утицај интегралног члана управљања. Зато се овде најчешће фиксира K_p са капицом тако да прескалира максималну могућу грешку на опсег од -1 до 1 што је улазни универзум за овај сигнал. У нашем случају, како је референца од -25 до 25, највећа вредност грешке је 50. Отуда следи да је K_p са капицом $1/50 = 0.02$.

Сада лако можемо одредити преостале коефицијенте и добијамо систем на слици испод.



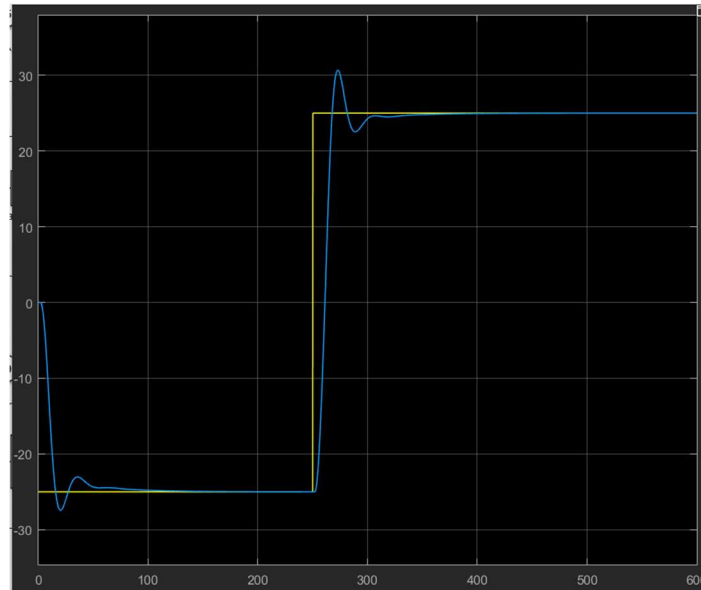
Слика 15 Систем управљања са PID контролером

У овом случају је fuzzy блок остао непромењен у односу на случај без интегралног дејства.



Слика 16 Горе лево - сигнал на излазу система и референца, Горе десно - сигнал грешке пре и после сатурације, Доле лево - сигнал извода грешке пре и након сатурације, Доле десно - управљање пре и након сатурације

Са слике 16 уочавамо да смо постигли жељену нулту грешку у стационарном стању, мада нам је мало порастао прескок. Такође, сада нам је грешка иста пре и после сатурације јер смо K_r са капицим фиксирали, а управљање нам овде одлази у сатурацију. У жељи да мало побољшамо одзив система, као и да мало смањимо сатурацију, променићемо K_i на вредност 0,0006, односно смањићемо интегрално дејство, чиме добијамо одзив на следећој слици.

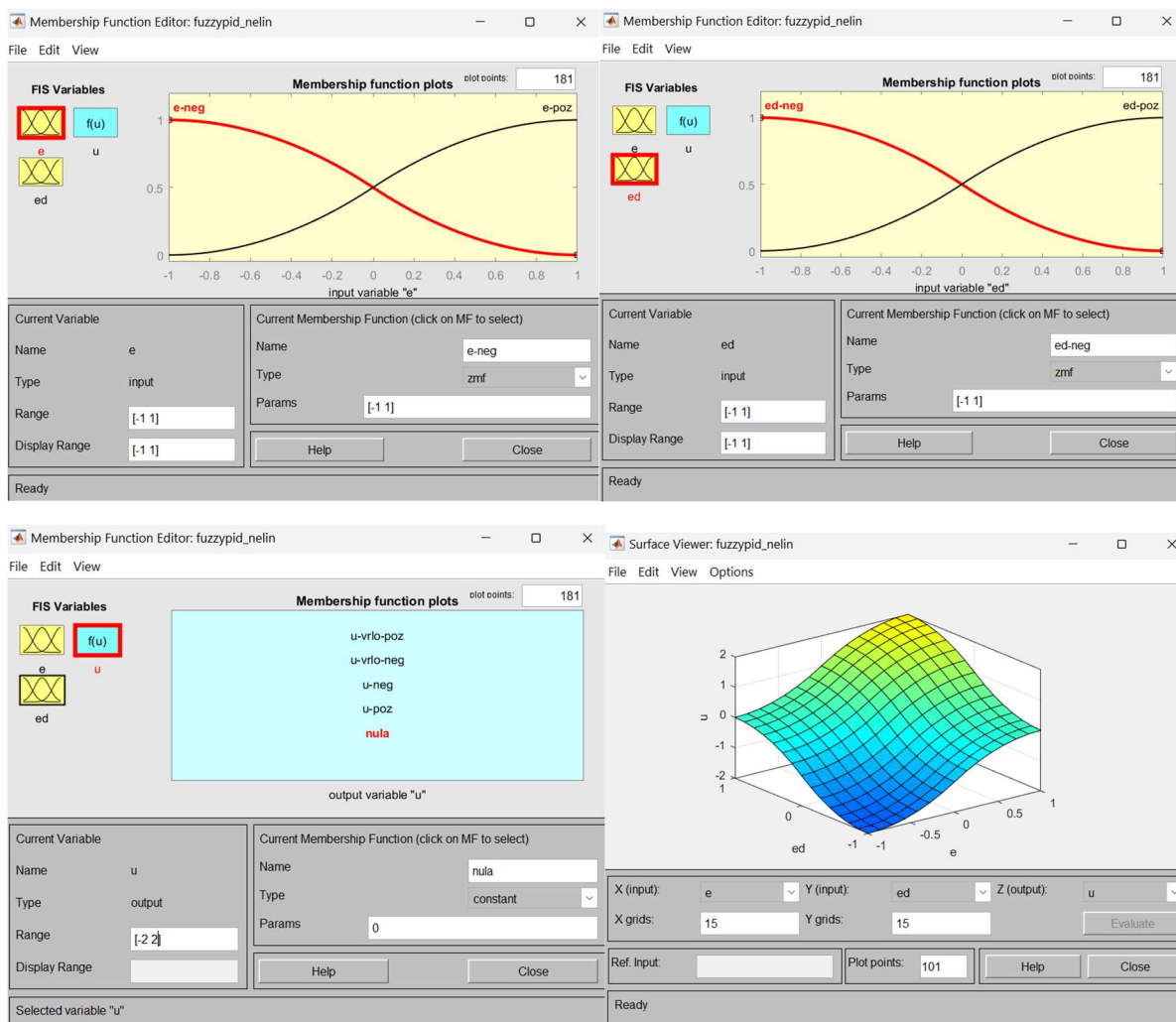


Слика 17 Одзив са промењеним K_i

Цела претходна анализа односила се на случај линеарног fuzzy блока, односно улазне функције припадања су линеарне. Сада ћемо направити нелинеаран блок како бисмо унели више слободе у систем и добили боље перформансе.

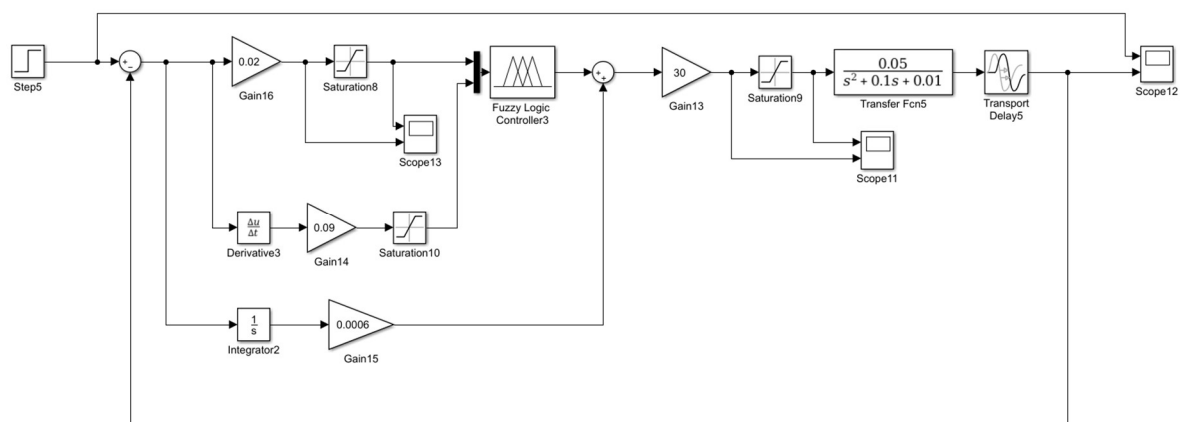
Прављење нелинеарног fuzzy PID контролера

Први корак је промена улазних облика скупова. Уместо коришћења линеарних скупова, сада ћемо направити нелинеарне, за почетак ћемо користити делове синусне функције и избацити маалу грешку и маалу промену грешке.



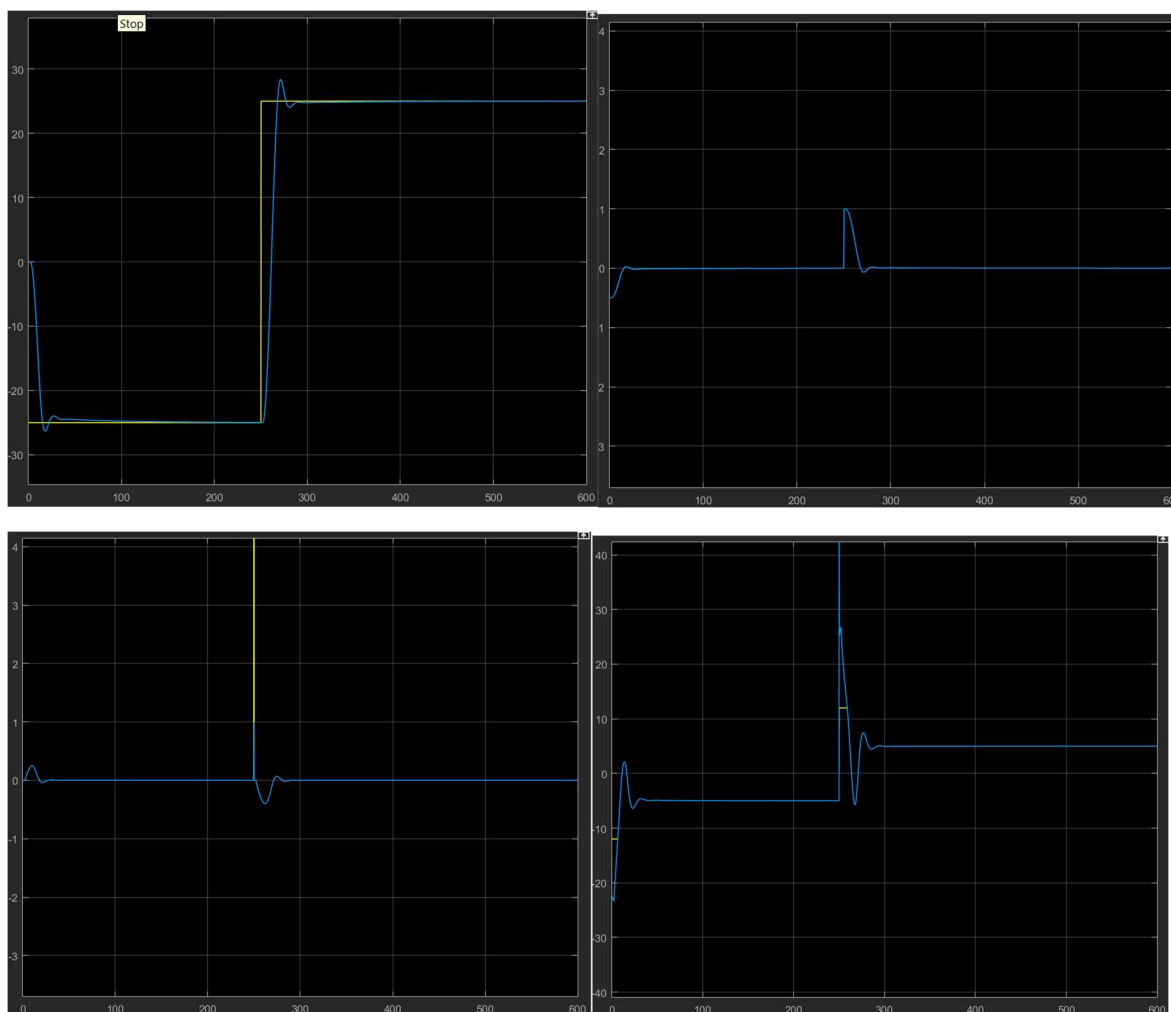
Слика 18 fuzzy PID нелинеаран

Видимо да се број правила смањило, што је логично јер смо избацили неке од улазних скупова. Површ је сада стрмија, има веће појачање око нултих вредности улазних сигнала, али има исте вредности у угловима као и линеарна површ.



Слика 19 Систем са нелинеарним fuzzy блоком

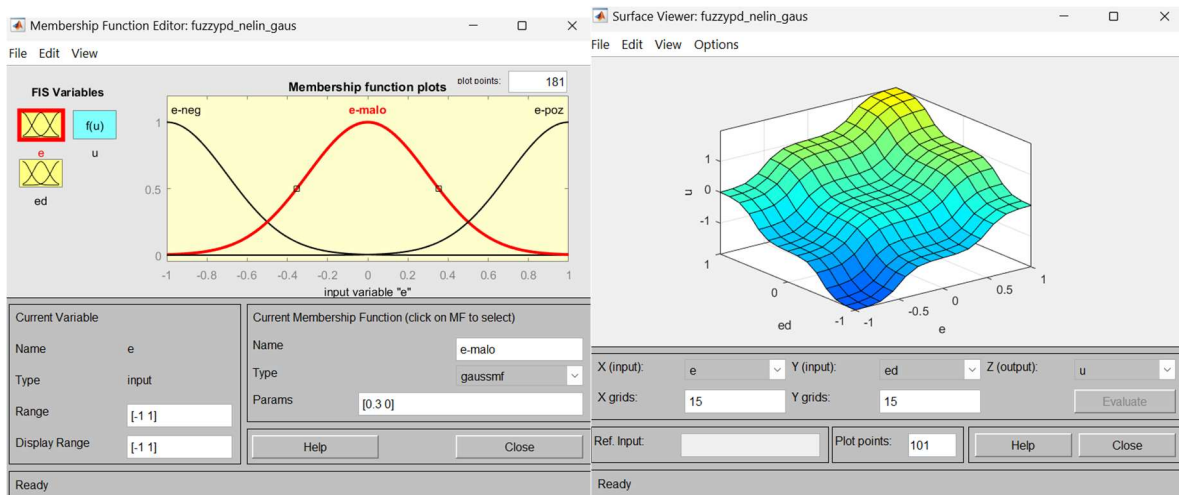
Као што примећујемо на слици 19, коефицијенти могу остати исти као и у линеарном систему, али је сада коришћен нелинеарни fuzzy блок.



Слика 20 Горе лево - сигнал на излазу система и референца, Горе десно - сигнал грешке пре и после сатурације, Доле лево - сигнал извода грешке пре и након сатурације, Доле десно - управљање пре и након сатурације

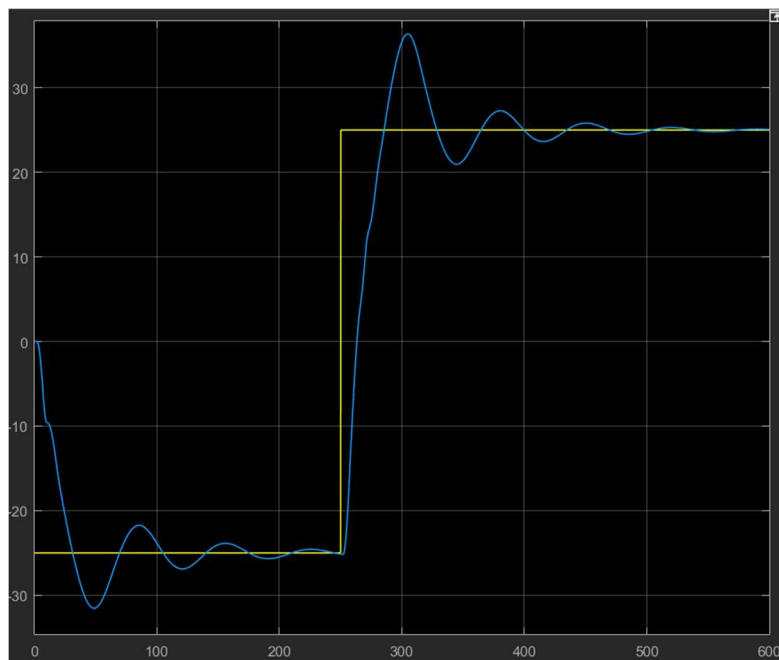
Са слике 20 уочавамо да смо добили веома леп одзив система. Грешка је иста пре и после сатурације, а управљање нам овде одлази у сатурацију. Та сатурација није превелика, мада ако бисмо желели да је скроз избегнемо, морали бисмо да смањимо K_u , али онда опадају и перформансе система.

Овде можемо размислити шта би се десило ако бисмо уместо делова синусне функције користили неку другу нелинеарну функцију, нпр. Гаусову, где остављамо и централне скупове за мале грешке.



Слика 21 Промене у односу на претходни блок

Сада се добија следећи одзив система:



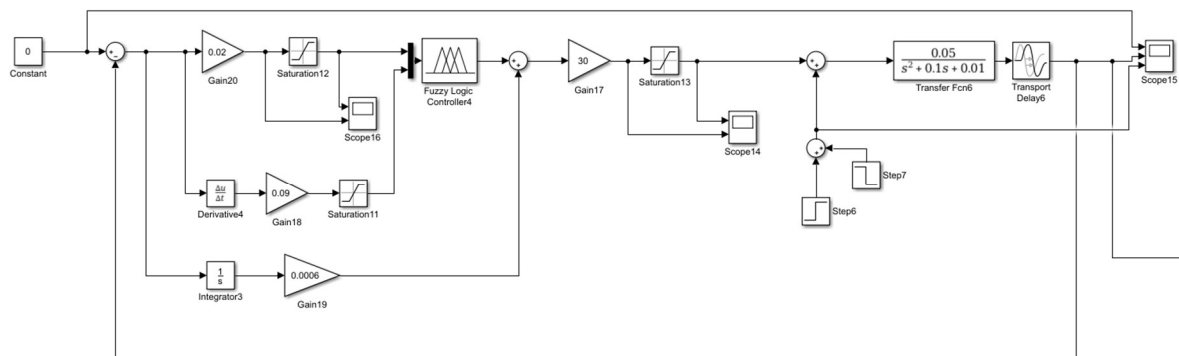
Слика 22 Одзив система са Гаусовом нелинеарношћу

Нисмо баш добили најсјајнији одзив :(Можда бисмо то могли да поправимо променом коефицијената, мада смо задовољни системом са скуповима са деловима синусне функције те нећемо више мењати овај систем и оставићемо финалну верзију коју смо добили са нелинеарним fuzzy системом са таквим функцијама.

Систем за потискивање поремећаја

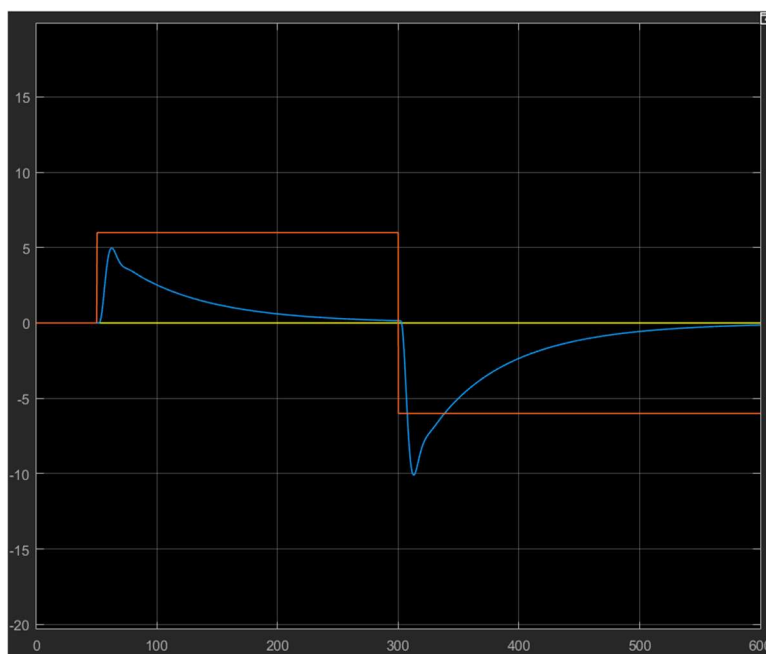
Сада имамо за задатак да направимо систем за што боље отклањање поремећаја који долази на улаз нашег процеса. Сматрамо да је референтна вредност нула, а поремећај садржи две одскочне вредности на максималну и минималну вредност, односно половину управљачког сигнала, у нашем случају је то шест.

Пошто смо цео поступак прављења регулатора детаљно описали у претходним поглављима, овде ћемо изнети финални модел. Креирани модел у претходној тачки нам може послужити као основа за овај систем.



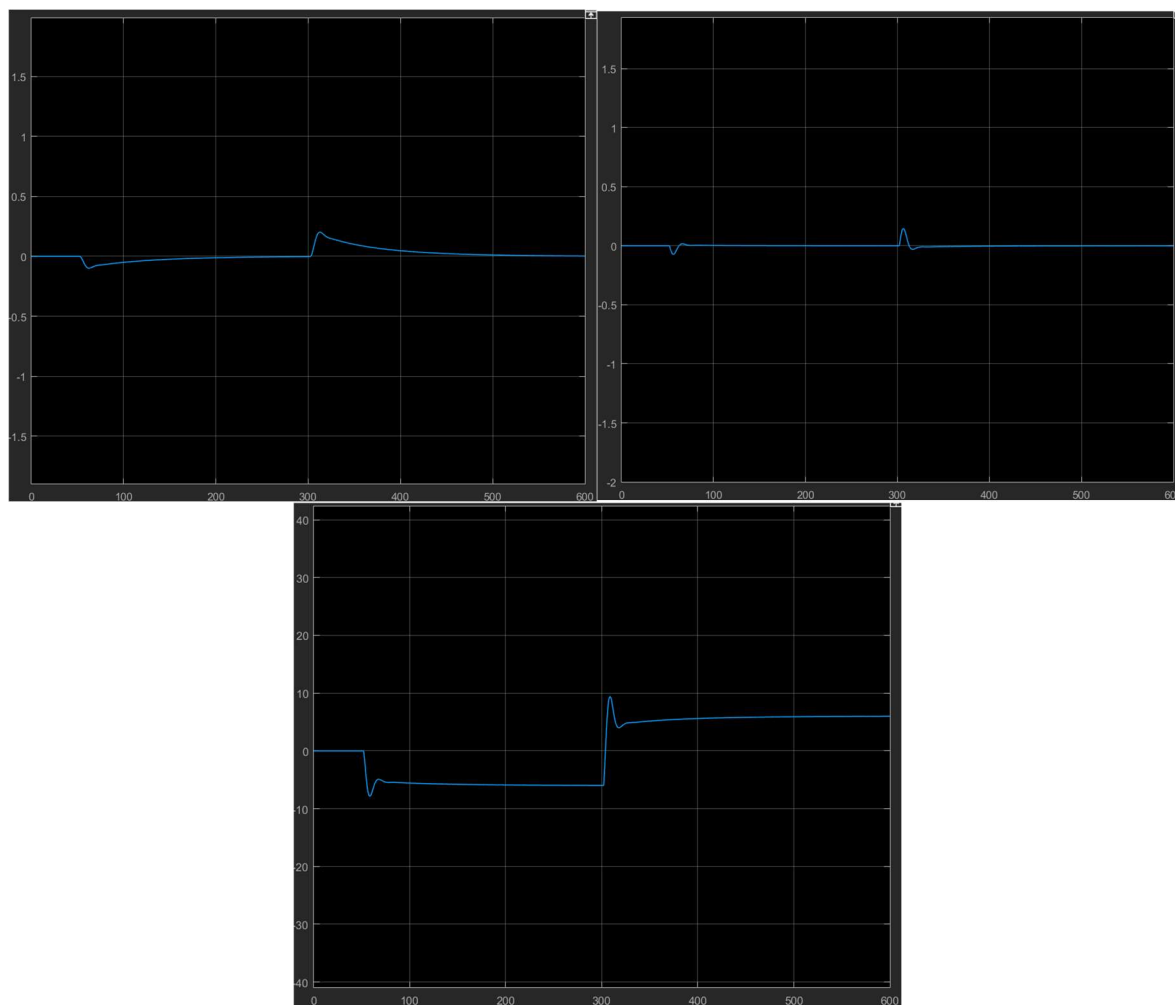
Слика 23 Изглед система за потискивање поремећаја

Овде је коришћен fuzzy inference систем који је идентичан као у претходном поглављу, а приказан на слици 18.



Слика 24 Одзив система за потискивање поремећаја; жуто је референца, црвено поремећај, а плаво излаз система

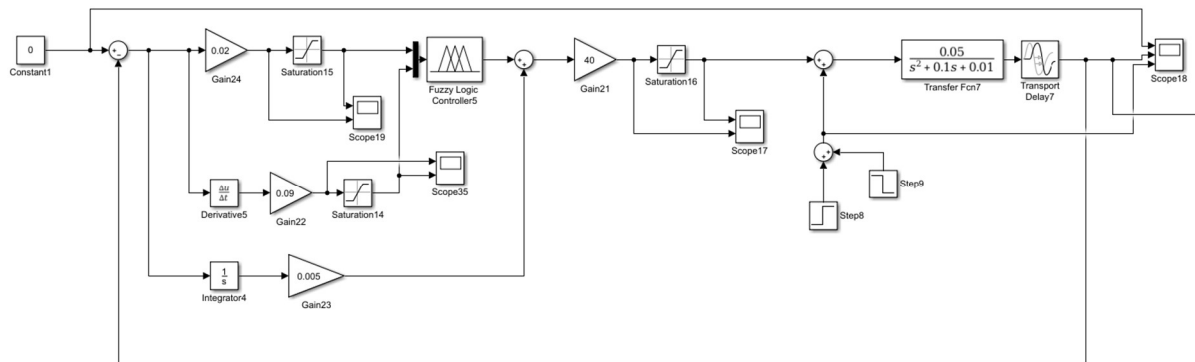
Као што можемо видети са слике 24, систему треба доста времена да се стабилизује након појаве поремећаја, а такође је и амплитуда излазног сигнала веома велика.



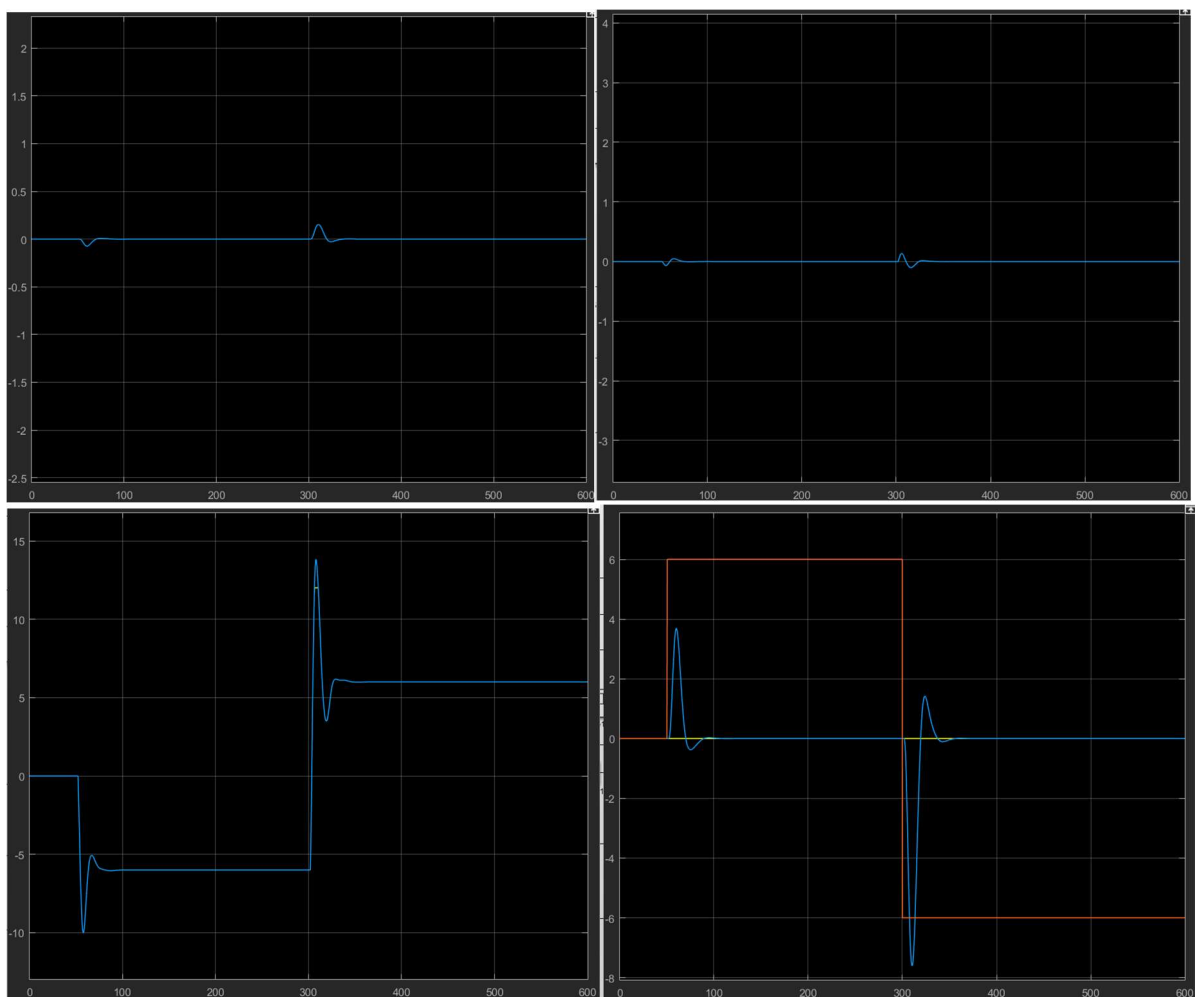
Слика 25 Горе лево - грешка, Горе десно - извод грешке, Доле – управљање

Приметимо са слике 25 да ниједан од сигнала битних за систем не улази у засићење те је могуће променити одговарајуће коефицијенте како бисмо што јачим могућим управљањем боље сузбили поремећај.

Покушаћемо да повећамо брзину отклањања поремећаја тако што ћемо повећати интегрално дејство на вредност 0.005, а такође ћемо повећати и укупно управљање повећањем коефицијента K_u , водећи рачуна при томе да управљање не буде много у засићењу. Овим поступком смо добили прихватљиво брзо потискивање поремећаја.



Слика 26 Систем за потискивање поремећаја са коригованим појачањима



Слика 27 Горе лево - грешка, Горе десно - извод грешке, Доле лево - управљање, Доле десно - излаз система, референца и поремећај

Са слике 27 видимо да смо овим изменама добили значајно брже потискивање поремећаја, као и мању амплитуду промене излазног сигнала у поређењу са претходним покушајем. Мислимо да је ово довољно добро пројектован систем за отклањање поремећаја, те нећемо вршити даља подешавања.

Закључак

Из претходне приче уочавамо велике могућности fuzzy управљања, могуће је значајно побољшати перформансе система у односу на конвенционалне контролере, а такође, добијамо и већи степен слободе при пројектовању оваквих система. Некада је тај степен слободе и замка јер није увек јасно дефинисано како неки од параметара целог система утиче на само управљање и понашање излаза.

Литература

Велики део извештаја је написан коришћењем скрипте професора Ракића „Fuzzy PID“