

Nadgradnja inteligentnega motornega pogona

Damir Vrančič¹, Janko Petrovčič¹, Zoran Šaponia², Samo Krančan², Saša Kojic²

¹Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana

²Danfoss Trata, d.o.o, Ulica Jožeta Jame 16, Ljubljana

damir.vrancic@ijs.si, janko.petrovcic@ijs.si, zoran.saponia@danfoss.com,
samo.krancan@danfoss.com, sasa.kojic@danfoss.com

Upgrade of intelligent motor-driven actuator

Oscillations in the control systems appear due to disturbances or inappropriate controller structure or parameters. Oscillations in the system might result in increased power consumption, decrease of product quality and lower actuator's life expectancy. Several years ago, an anti-oscillation intelligent system, embedded in motor-driven valve actuators of manufacturer Danfoss Trata, has been developed. The system was proven to be very efficient in reducing oscillations in the system. However, in some specific cases, the embedded system was not able to reduce oscillations entirely. The old anti-oscillation system has been upgraded under the framework of the Competence centre for advanced control technologies. Performance of the upgraded system has been significantly improved, which can be seen from simulation results and preliminary tests on the actual valve drives. The system is modular and is not limited to specific valve drives and is hence suitable for installation in different series of valve actuators.

Kratek pregled prispevka

V regulacijskih sistemih pogosto prihaja do nihanj, ki so posledica motenj v sistemu ali neprimerne strukture in/ali neustreznih parametrov regulatorjev. Zaradi motenj prihaja do večje porabe energije, zmanjšanja kvalitete proizvodov in krajše življenjske dobe izvršnih členov. Pred nekaj leti smo razvili algoritme za odpravo oscilacij v regulacijskih sistemih. Algoritme smo vgradili v motorne pogone ventilov proizvajalca Danfoss Trata, d.o.o. V nekaterih specifičnih primerih pa tovrstni pogoni niso uspeli popolnoma izničiti oscilacije. V okviru kompetenčnega centra Sodobnih tehnologij vodenja smo zato nadgradili omenjen sistem za zmanjšanje in odpravo oscilacij. Nadgrajen sistem učinkoviteje in hitreje odpravlja oscilacije od dosedanjega sistema, je modularen ter ni omejen na specifičen pogon ventilov. Sistem je tako primeren za vgradnjo v različne serije pogonov ventilov.

1 Uvod

Nihanja v zaprtozračnih regulacijskih krogih so pogost spremljevalec HVAC (ogrevalno-hladilnih in prezračevalnih) sistemov ter v procesni in kemični industriji. Do nihanj prihaja zaradi različnih vzrokov. Med najpogostejšimi vzroki so periodične motnje iz okolice in sosednjih zank, neoptimalno nastavljeni parametri regulatorjev, nelinearnost procesa, ki ga vodimo ter histereza izvršnih členov.

Nekatere vzroke nihanj lahko odpravimo tako, da optimalneje nastavimo parametre regulatorja. Pri tem lahko uporabimo tako ročne, kot tudi samodejne metode nastavljanja. Pri ročnem načinu nastavljanja parametrov najprej izvedemo poizkus na procesu, nato pa na osnovi odzivov sistema izračunamo parametre procesa, iz njih pa parametre regulatorja. Samodejne metode nastavljanj se razlikujejo v tem, da omogočajo samodejno izvedbo poizkusa in izračun parametrov procesa in regulatorja.

Slabost ročnih in samodejnih metod nastavljanja parametrov je v tem, da praviloma nastavijo parametre samo v eni delovni točki procesa. V primeru spremembe delovne točke se lahko spremenijo parametri procesa, s tem pa tudi optimalni parametri regulatorja. V tovrstnih primerih lahko uporabimo adaptivne metode nastavljanja parametrov regulatorjev, ki spremenijo parametre regulatorjev takrat, ko zaznajo neoptimalno delovanje. Pomanjkljivost tovrstnih metod je v tem, da potrebujejo vzbujanje ter da popravijo zaprtozračni odziv šele, ko zaznajo oscilacije v sistemu. Pri nelinearnih sistemih se namreč ojačenje sistema spreminja glede na delovno točko. Pri vsaki spremembi delovne točke bo tako adaptivni sistem na novo nastavil parametre regulatorja. To tudi pomeni, da so ob spremembah delovne točke pri tovrstnih sistemih neoptimalni odzivi neizogibni.

Pred leti smo se na Institutu Jožef Stefan ter v podjetju Danfoss Trata odločili razviti sistem odpravljanja oscilacij v sistemu, ki bo sposoben pomniti izmerjene oscilacije v različnih delovnih točkah sistema in prilagajati ojačenja v celotnem delovnem področju sistema. Sistem je

bil razvit na motornih pogonih ventilov proizvajalca Danfoss. Sistem je zaznal oscilacije v posamezni delovni točki in lokalno zmanjšal dinamično ojačenje pogona ventila. Prednost razvitega sistema je bila v tem, da je potreboval samo en vhodni signal (želena odprtost ventila) ter da je omogočal različna dinamična ojačenja pogona v različnih delovnih točkah. Na ta način je bilo možno optimizirati zaprtozračen odziv sistema v celotnem delovnem področju brez dodatnih oscilacij ali počasnega odziva pri spremembah delovne točke.

Pomanjkljivosti obstoječega sistema so bile v tem, da v primeru oscilacij, ki so bile v bližini skrajnih leg pogona (popolnoma zaprt ali popolnoma odprt ventil), sistem ni bil sposoben v vseh primerih zmanjšati oscilacije. Do tega je prišlo zaradi specifične nelinearne karakteristike dinamičnega ojačenja pogona ventila.

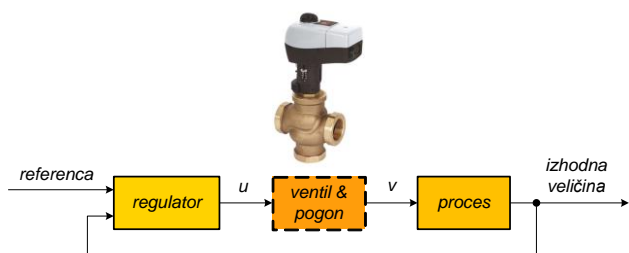
S spremembo oblike krivulje smo spremenili dinamično ojačenje pogona in uspeli izboljšati učinkovitost odpravljanja oscilacij.

V prispevku bomo v naslednjem poglavju opisali princip delovanja dosedanjega sistema za odpravljanje oscilacij v sistemu, v poglavju 3 pa bomo prikazali izboljšave, ki smo jih naredili na novem sistemu. Poglavje 4 prikazuje primerjavo med starim in novim sistemom za odpravljanje oscilacij. Prispevek bomo zaključili s kratkim sklepom.

2 Dosedanji sistem za odpravljanje oscilacij

Dosedanji sistem za odpravljanje oscilacij v sistemu, ki je bil razvit na Institutu Jožef Stefan ter v podjetju Danfoss Trata d.o.o., temelji na zmanjšanju ojačenja regulacijske zanke v delovnih točkah, kjer zaznamo oscilacije regulirnega signala. Sistem je že bil opisan v prejšnjih delih ([1] in [2]) tako da bomo v tem poglavju samo na kratko opisali njegovo delovanje.

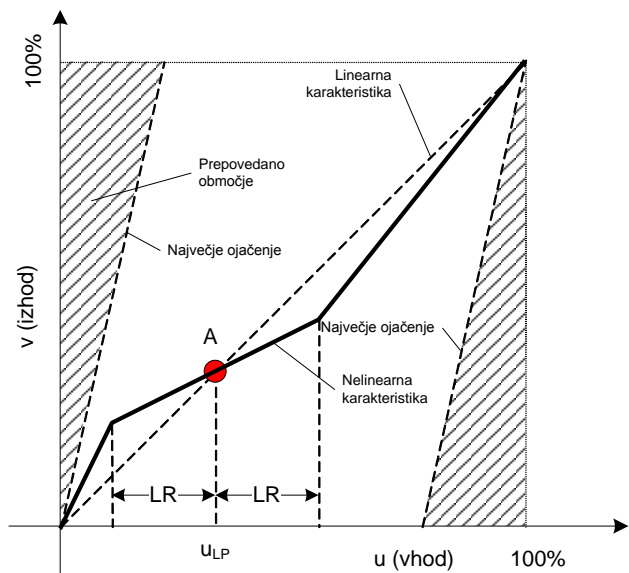
Klasična regulacijska zanka je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Regulacijska zanka z regulatorjem, pogonom ventila, ventilom in procesom.

Oscilacije v sistemu v večini primerov nastanejo zaradi neustreznih parametrov regulatorja v nekaterih delovnih točkah procesa. Za stabilizacijo zaprtostnega sistema je v večini primerov potrebno zmanjšati ojačenje zanke v ustrezni delovni točki. Le-to lahko naredimo tako, da lokalno zmanjšamo ojačenje pogona ventila (torej ojačenje med signaloma u in v na sliki 1).

Primer vhodno-izhodne karakteristike pogona ventila z zmanjšanim ojačenjem v delovni točki, kjer je vhodna vrednost izhod iz regulatorja u , izhodna vrednost pa odprtost ventila v , je prikazana na sliki 2 [1].



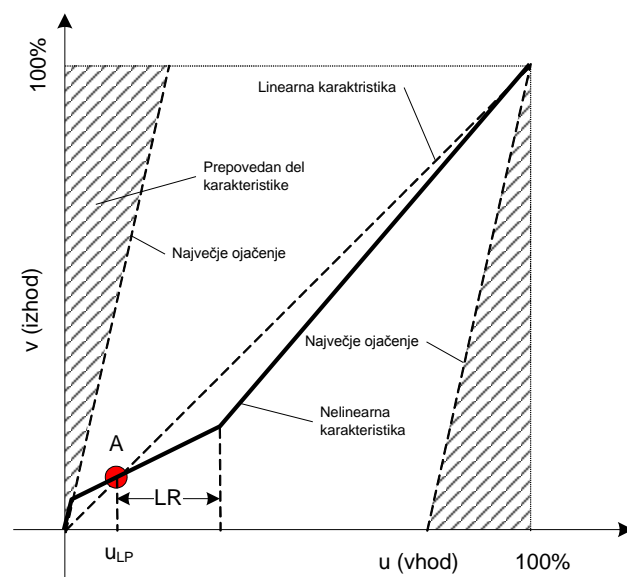
Slika 2: Vhodno-izhodna karakteristika dosedanjega pogona ventila.

Pri manjših spremembah vhodnega signala okrog delovne točke u_{LP} (točka A), je izhodni

signal relativno manjši zaradi bolj položne karakteristike okrog točke A. Tako je ojačenje celotnega zaprtostnega sistema manjše in s tem lahko stabiliziramo sistem. Ojačenje sistema okrog delovne točke nastavljamo z naklonom karakteristike v linearnem območju (LR).

Karakteristika na sliki 2 ima to prednost, da se delovna točka sistema ne spreminja (povprečje vhodnega signala je enako povprečju izhodnega signala), hkrati pa omogoča tudi hipno zapiranje (0%) ali odpiranje (100%) ventila. Pri spremembi delovne točke se celotna krivulja sčasoma prestavi na višji ali nižji nivo okrog nove delovne točke.

Primer znižanj delovne točke prikazuje slika 3.



Slika 3: Vhodno-izhodna karakteristika dosedanjega pogona ventila (nižja delovna točka).

Slabost dosedanjega sistema je tako v tem, da je relativno slabo dušil nihanja v okolici skrajnih točk, torej v bližini popolnoma zaprtega ali odprtega ventila. Razlog za to tiči v tem, da se vhodna signala 0% in 100% vedno preslikata v izhodna signala 0% in 100%. To tudi pomeni, da je v okolici popolne zaprtosti ventila (0%) ali popolne odprtosti ventila (100%) ojačenje pogona praviloma večje od 1.

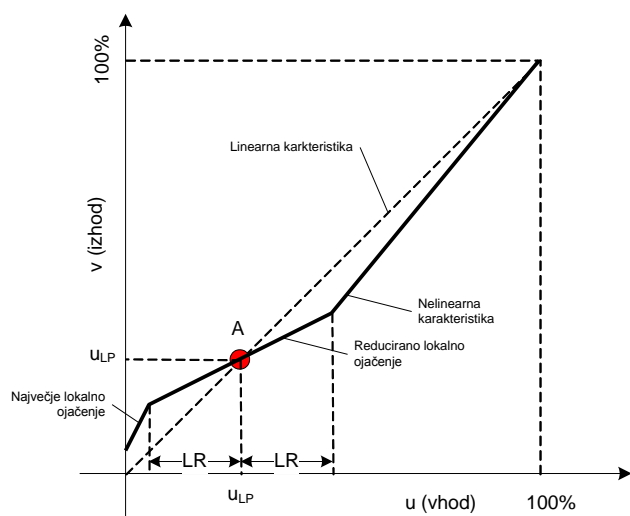
Kot primer lahko na sliki 3 vidimo, da se pri manjših vhodnih signalih območje nižjega ojačenja skrči v bližini skrajnih leg (v tem primeru v bližini 0%).

Nezveznost karakteristike ter relativno visoka ojačenja v okolici skrajnih točk pa ne moreta učinkovito zmanjšati nihanja v zaprtozančnem sistemu.

Za izboljšanje učinkovitosti dosedanjega sistema, smo se tako odločili nekoliko spremeniti karakteristiko pogona ventila v primeru nihanj v bližini skrajnih točk.

3 Modificiran sistem za odpravljanje oscilacij

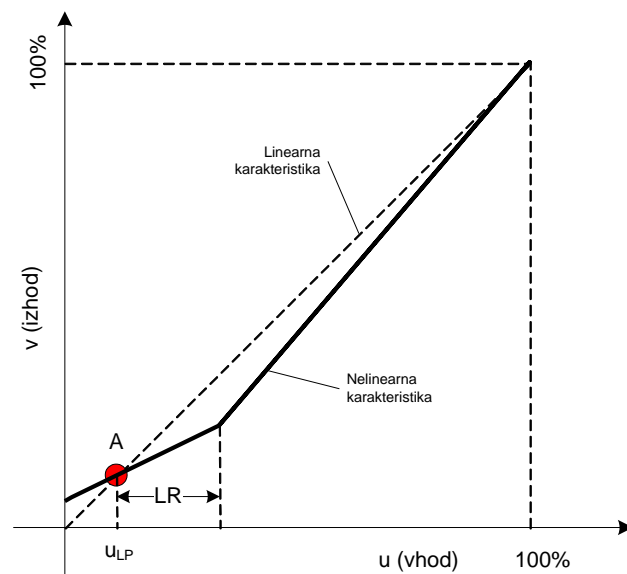
Zaradi omenjenih slabosti dosedanjega sistema smo se odločili spremeniti obliko nelinearnosti pogona ventila. Spremenjeno obliko nelinearnosti pogona prikazuje slika 4.



Slika 4: Vhodno-izhodna karakteristika modificiranega pogona ventila.

Na sliki lahko opazimo, da je linearni del karakteristike (LR) simetričen okoli delovne točke A. Opazimo tudi, da je izhodni signal večji od 0% pri vhodnem signalu 0%. To pomeni, da pogona ne moremo več hipoma popolnoma zapreti.

V primeru še nižje delovne točke, pa dobimo karakteristiko, ki je prikazana na sliki 5.

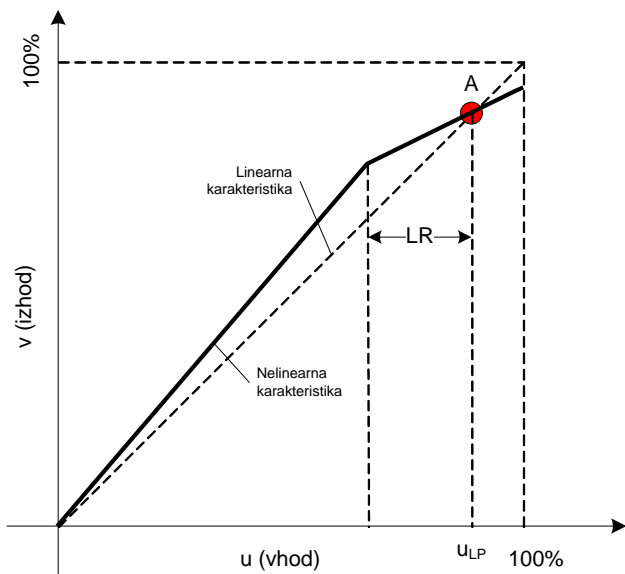


Slika 5: Vhodno-izhodna karakteristika modificiranega pogona ventila v delovni točki v bližini 0% odprtosti ventila.

Pri novem sistemu se pri nizkih delovnih točkah linearni del karakteristike v okolici delovne točke (LR) ne zlomi v bližini 0% odprtosti ventila. Le-to ohranja nizko dinamično ojačenje sistema okrog delovne točke ter s tem zanesljivejšo odpravo nihanj.

V delovnih točkah blizu 100% odprtosti pa dobimo karakteristiko, ki je prikazana na sliki 6. Karakteristika je simetrična karakteristiki v bližini delovne točke 0%.

Prednost modificirane karakteristike je v tem, da učinkoviteje odpravi oscilacije v zaprtozančnem sistemu, saj omogoča nižje ojačenje sistema v okolici vseh delovnih točk. Pomanjkljivost modificiranih karakteristik pa je v tem, da ne omogočajo hipnega popolnega zapiranja (slika 5) ali odpiranja (slika 6) ventila. Pri tem je potrebno poudariti, da je v primeru stalnih oscilacij v okolici končnih točk v večini primerov najpomembnejša odprava samih oscilacij.

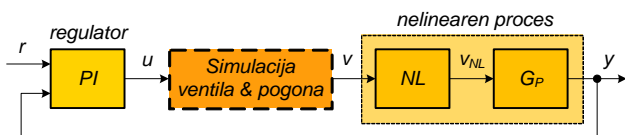


Slika 6: Vhodno-izhodna karakteristika modificiranega pogona ventila v delovni točki v bližini 100% odprtosti ventila.

Poudariti je potrebno, da modificiran algoritem uporabi vhodno-izhodne karakteristike prikazane na slikah 4 do 6 samo v primeru, če zazna dolgotrajnejše oscilacije v bližini skrajnih točk pogona ventila. Ob določenih pogojih lahko sistem ponovno uporabi karakteristike prikazane na slikah 2 in 3.

4 Preizkus modificiranega sistema

Delovanje algoritma novega »inteligentnega« pogona smo preizkusili simulacijsko v programskem okolju paketa Matlab. Bločna shema simulacije je prikazana na sliki 7.



Slika 7. Bločna shema simulacijskega algoritma, ki je tekel v programskem jeziku Matlab.

Uporabili smo PI regulator (glej sliko 8) z zaščito pred integralskim pobegom s parametri

$$K_P = 4$$

$$K_I = 0.05'$$

kjer vhod In1 predstavlja signal regulacijskega pogreška ($r-y$), signal Out1 pa izhod iz regulatorja (u).

Izbran proces je bil naslednji:

$$G_P = \frac{1.1}{(1+30s+200s^2)(1+20s)}$$

Nelinearnost procesa (blok NL na sliki 7) smo simulirali z nelinearno funkcijo:

$$v_{NL} = (1 - k_{nl})v^2 + k_{nl}v,$$

kjer je $k_{nl} = 1.8$. Tako ima proces z ventilom večje ojačenje v spodnjem delu karakteristike, manjše pa zgoraj.

Spreminjali smo želeno vrednost izhoda iz procesa (r) od 10% do 60% obsega (od 0.1 do 0.6) in nazaj z različnimi koraki.

Odzivi krmilnega signala v ventil in procesa so prikazani na slikah 9 do 17. Pri tem izhodni signal iz regulatorja (u) in procesa (y) v velikosti 10000 predstavlja 100% obsega signala (torej $u=1$ oziroma $y=1$).

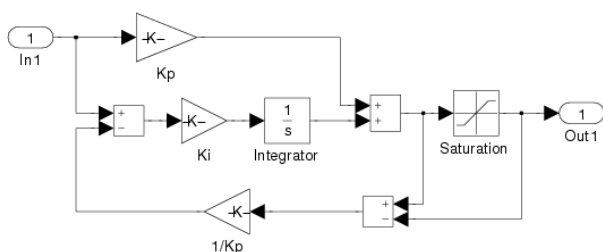
Iz odzivov lahko opazimo, da je inteligentni pogon že zelo hitro zmanjšal oscilacije v sistemu in s tem podaljšal življenjsko dobo ventila.

Opazimo lahko tudi, da so razlike med navadnim (linearnim) in inteligentnim pogonom najbolj očitne v področju, kjer sistem najbolj niha (spodaj), odzivi pa so skoraj enaki v področju, kjer je sistem neoscilatoren. Iz tega sklepamo, da sistem deluje po pričakovanih in zmanjša ojačenje sistema v točkah, kjer zazna oscilacije. Bolj oscilatoren sistem povzroči izračun večjega faktorja dušenja in s tem manjše ojačenje pogona v izbrani delovni točki. V točkah, kjer je faktor dušenja dovolj nizek (zgoraj), pa ne prihaja do zmanjšanja ojačenja.

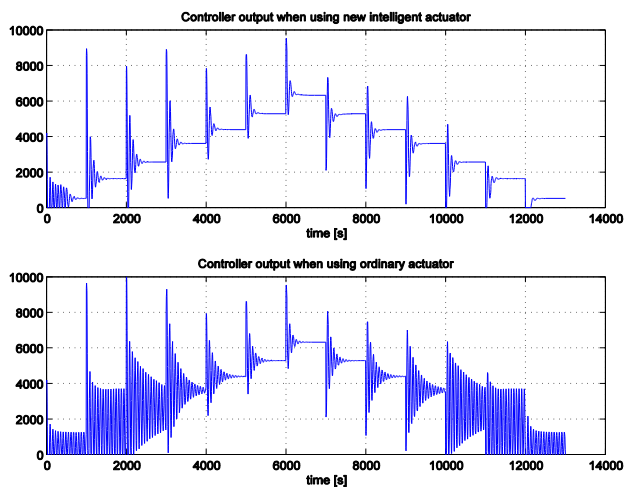
Opazimo tudi, da je nov inteligenten algoritem bolj učinkovit od starega, saj hitreje odstrani oscilacije v spodnjem področju karakteristike procesa od starega algoritma. Izboljšanje je večinoma posledica linearne karakteristike pogona v skrajnih legah ter

nekoliko izboljšanemu algoritmu zaznavanja in odpravljanja oscilacij.

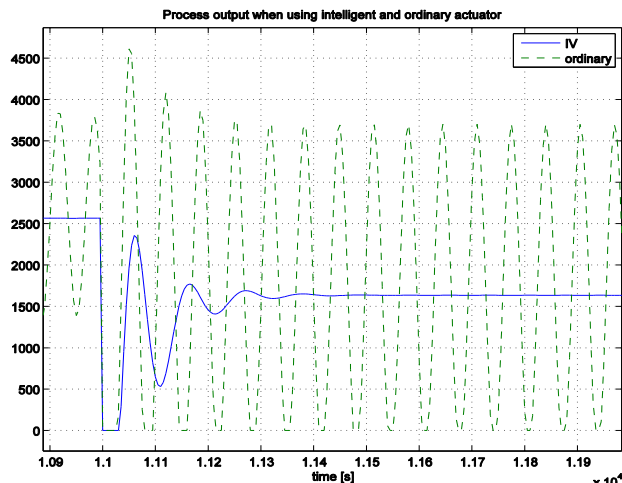
Pred kratkim smo nov sistem vgradili v pogon ventila proizvajalca Danfoss Trata, d.o.o. ter primerjali dosednji in nov sistem. Prvi rezultati testiranja kažejo na to, da nov sistem veliko učinkoviteje odpravi motnje od dosedanjega sistema.



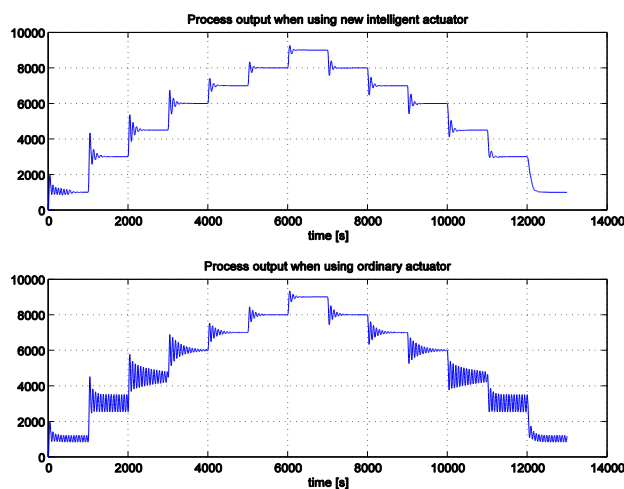
Slika 8. Bločna shema PI regulatorja z vgrajenim sistemom za zaščito pred integralskim pobegom.



Slika 9. Izhod iz regulatorja pri uporabi nove funkcije inteligentnega ventila (zgoraj) in brez uporabe inteligentnega ventila (spodaj).



Slika 10. Detajl primerjave izhoda iz regulatorja v spodnjem delu karakteristike. Polna črta prikazuje nov inteligentni aktuator, črtkana pa navaden linearen aktuator.



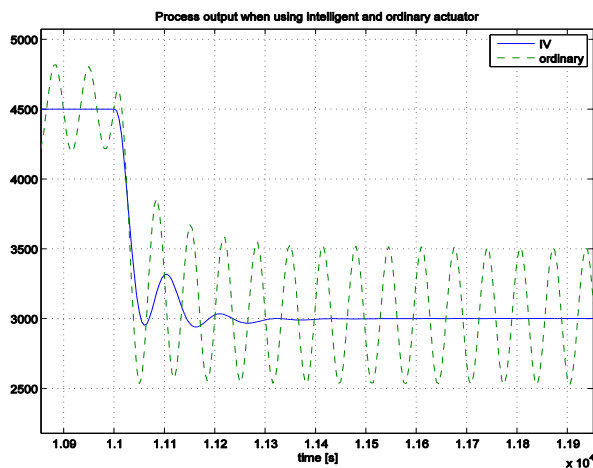
Slika 11. Izhod iz procesa pri uporabi nove funkcije inteligentnega ventila (zgoraj) in brez uporabe inteligentnega ventila (spodaj).

5 Zaključek

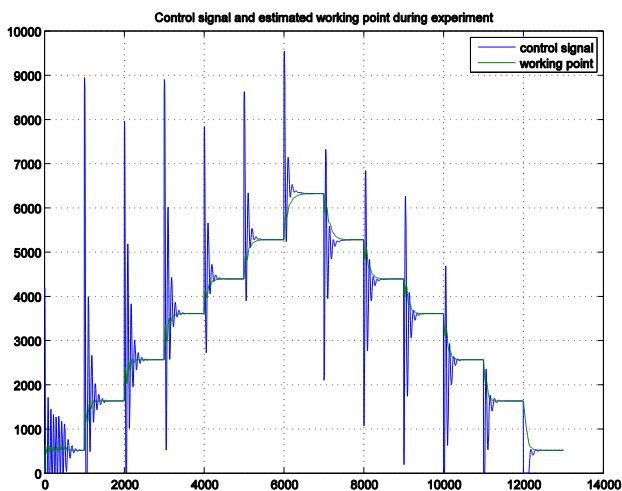
V prispevku smo prikazali delovanje novega sistema za odpravljanje oscilacij v regulacijskih zankah, ki je vgrajen v pogone ventilov proizvajalca Danfoss Trata, d.o.o.

S spremembo nelinearne karakteristike pogona pri oscilacijah v bližini skrajnih leg pogona smo zmanjšali ojačenje pogona v vseh delovnih točkah sistema.

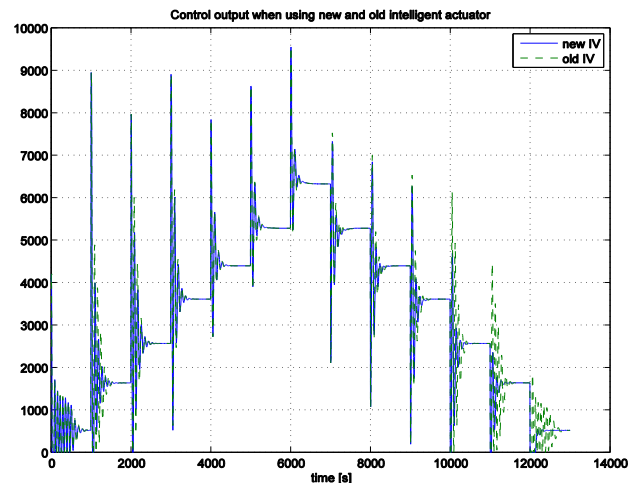
Preizkus delovanja algoritma smo najprej opravili v simulacijskem okolju Matlab. Rezultati poizkusov potrjujejo, da nov sistem za zmanjšanje oscilacij v regulacijskih sistemih uspešno odpravlja oscilacije v delovnih točkah, kjer je regulacijska zanka najbolj oscilatorna.



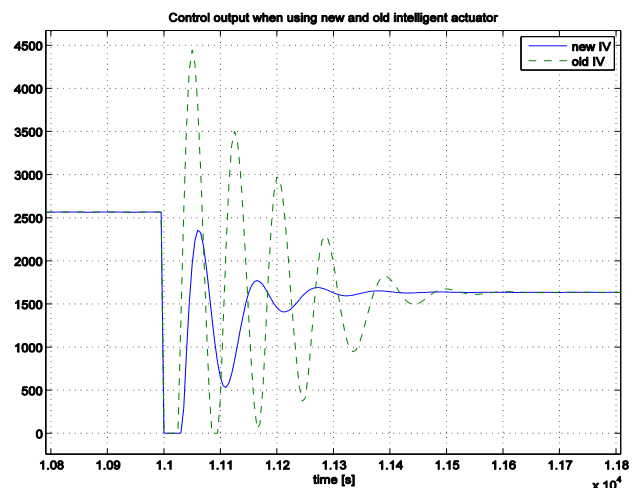
Slika 12. Detajl primerjave izhoda iz procesa v spodnjem delu karakteristike. Polna črta prikazuje nov inteligentni aktuator, črtkana pa navaden linearen aktuator.



Slika 13. Izhod iz regulatorja ter izračunana delovna točka procesa. Delovna točka sledi signalu regulatorja s predpisano dinamiko.



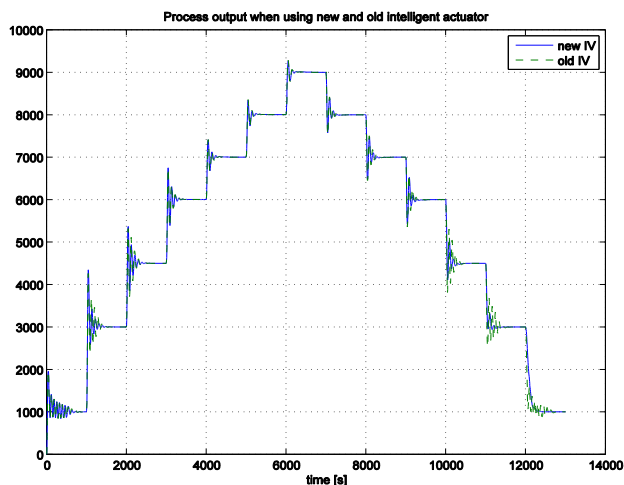
Slika 14. Krmilni signal na vходу v ventil. Polna črta prikazuje nov inteligentni pogon, črtkana pa dosedanji inteligentni pogon.



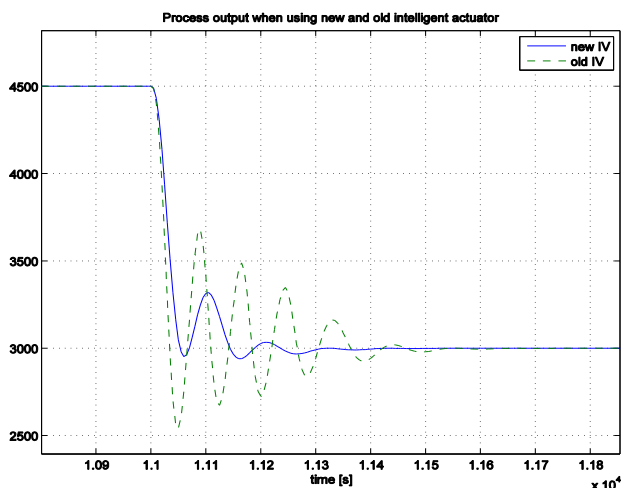
Slika 15. Detajl primerjave novega in dosedanjega inteligentnega pogona v spodnjem delu karakteristike.

Primerjava med obstoječim in novim sistemom je pokazala, da nov sistem učinkoviteje odpravlja oscilacije v sistemu. Največje razlike so opazne v bližini skrajnih točk pogona, kar je tudi pričakovano. V bližini teh točk se nelinearni karakteristiki pogona najbolj razlikujeta.

Nov sistem smo tudi prenesli na pogone ventilov proizvajalca Danfoss Trata, d.o.o. in prve primerjave kažejo, da nov sistem učinkoviteje odpravlja nihanja od starega sistema.



Slika 16. Izhod iz procesa. Polna črta prikazuje odzive pri uporabi novega inteligentnega pogona, črtkana pa pri uporabi dosedanjega inteligentnega pogona.



Slika 17. Detajl primerjave novega in dosedanjega inteligentnega pogona v spodnjem delu karakteristike procesa.

6 Zahvala

Delo je bilo izvedeno v okviru Kompetenčnega centra za sodobne tehnologije vodenja. Operacijo delno financirata Republika Slovenija, Ministrstvo za izobraževanje, znanost, kulturo in šport ter Evropska unija (EU) – Evropski sklad za regionalni razvoj v okviru Operativnega programa krepitve regionalnih razvojnih potencialov za obdobje 2007 – 2013.

7 Literatura

- [1] Svetek, A., Vrančič, D., Petrovčič, J., Krančan, S., Šaponia, Z. (2009). Razvoj adaptivnega inteligentnega ventila. *Konferenca AiG 2009*, Maribor.
- [2] Vrančič, D., Petrovčič, J., Svetek, A., Krančan, S., Šaponia, Z. (2009). Opis delovanja inteligentnega ventila za model AME 335. *IJS delovno poročilo*, DP-10181, Ljubljana.