



MJERNA I REGULACIJSKA TEHNIKA

Uređuje: Nenad Bolf

Ako se poremećaji u procesu javljaju većom brzinom nego što regulacijski krug može reagirati, standardna regulacija povratnom vezom (engl. *feedback control*) neće uspjeti dovoljno kompenzirati utjecaj poremećaja. U takvim slučajevima poboljšanje se može ostvariti primjenom kaskadne (engl. *cascade*) i/ili unaprijedne (engl. *feedforward*) regulacije.

Kaskadnu regulaciju treba primijeniti kod sporih regulacijskih krugova, kao što su regulacija temperature i razine koji reguliraju protok kapljevine ili plina pri čemu se poremećaji javljaju u upravljanoj toku. Unaprijedna regulacija se primjenjuje kad se javljaju veliki poremećaji u procesnom toku koji utječu na vođenu varijablu. Unaprijednu regulaciju analizirat ćemo u sljedećem nastavku.

Kaskadna regulacija

|| N. Bolf*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa
Savska cesta 16/5a
10 000 Zagreb

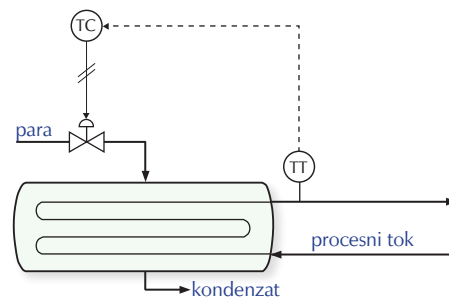
Kod kaskadnog načina vođenja izlaz jednog regulatora mijenja radnu točku drugoga. Većina kaskadnih krugova čine dva regulatora, no ponekad ih može biti i više u nizu. Svaki regulator ima svoju vođenu varijablu koja se mjeri u procesu. Kaskadna regulacija služi za izolaciju primarnog kruga od poremećaja, nelinearnosti i problema vezanih s izvršnom spravom (najčešće ventilom).

Kaskadna regulacija pokazuje svoju pravu vrijednost kad je dinamička zadržka u procesu vrlo velika, odnosno, kad reguliramo veoma spore procesa. Kod sporih procesa odstupanje može biti dugotrajno jer je nakon pojave poremećaja potrebno dulje vrijeme za početak korekcijskog djelovanja. Kad počne korekcijsko djelovanje, potrebno je, također, čekati dulje vrijeme za povratak vođene varijable u željeno stanje.

Standardna regulacija

Kod regulacije s jednim regulacijskim krugom regulator ima zadanu radnu točku (SP) na kojoj treba održavati procesnu varijablu (PV). Izlaz (OP) na temelju proračuna regulatora određuje otvorenost ventila (0 – 100 %). Na slici 1 regulator temperature podešava otvorenost ventila protoka pare da bi se održala temperatura procesnog toka na izlazu iz izmjenjivača topline na željenoj vrijednosti.

Regulator temperature u takvoj strukturi djeluje dobro sve dok je tlak pare u sustavu stabilan. Ako se tlak pare iznenada promijeni, uzrokovat će promjenu protoka pare kroz ventil u izmjenjivač topline. Ta promjena protoka neće se registrirati sve dok izlazna temperatura ne počne odstupati od radne točke. Tek tada će regulator početi kompenzirati odstupanje temperature. No zbog dugog mrtvog vremena i spore dinamike temperaturnog kruga, odstupanje temperature bit će veliko, a povratak na radnu točku spor. Odziv temperature standardnog kruga u usporedbi s kaskadnim prikazan je na slici 3.

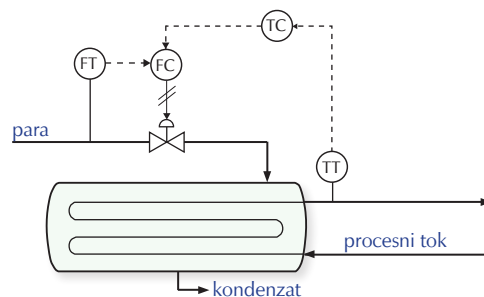


Slika 1 – Standardna regulacija temperature u izmjenjivaču topline

Kaskadna regulacija

Djelovanje regulatora temperature može se značajno poboljšati dodatkom regulatora protoka pare. Regulacija protoka pare može brzo ukloniti promjenu protoka pare, a izlazna temperatura i protok pare mogu se simultano regulirati. Struktura te regulacije prikazana je na slici 2.

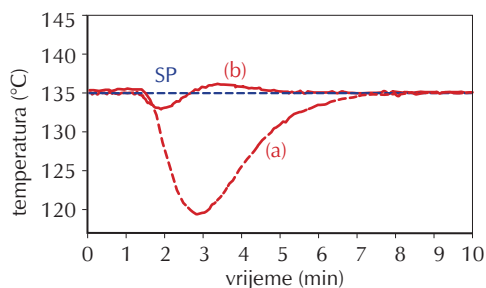
Primjenom kaskadne regulacije izlaz regulatora temperature, umjesto da djeluje izravno na regulacijski ventil, pretvara se u radnu točku regulatora protoka. Time zadaje potreban protok pare za postizanje željene temperature. Regulator protoka upravlja s otvorenosti ventila pare kako bi ostvario protok koji zahtijeva regulator temperature.



Slika 2 – Kaskadna regulacija temperature u izmjenjivaču topline

Primjenom kaskadne regulacije regulator će iznenadnu promjenu tlaka u sustavu pare kompenzirati odmah otvaranjem ventila da bi protok vratio na onaj koji zahtijeva regulator temperature. Iako izlazna temperatura može još uvijek biti pod utjecajem poremećaja, odstupanje temperature bit će bitno manje i korigirano znatno brže nego sa standardnom regulacijom. Na slici 3 jasno je vidljivo poboljšanje u odzivu vođene temperature u usporedbi sa standardnom regulacijom.

* Izv. prof. dr. sc. Nenad Bolf
e-pošta: bolf@fkit.hr



Slika 3 – Odziv temperature na izlazu iz izmjenjivača topline sa standardnom (a) i kaskadnom (b) regulacijom

Osnovni regulator naziva se primarni (engl. *primary, master*) i dio je vanjskog (engl. *outer*) kruga. Pomoćni regulator naziva se sekundarni (engl. *secondary, slave*) i dio je unutarnjeg (engl. *inner*) kruga.

Kaskadna regulacija primjenjuje se na procese s relativnom spornom dinamikom. Npr. ako se regulira razina kapljevine, temperatura, tlak plina i sastav, regulacija će uvijek biti bolja u slučaju kad primarni regulator upravlja s regulatorom protoka umjesto da izravno djeluje na ventili.

Kaskadna regulacija donosi poboljšanje samo ako je dinamika unutarnjeg kruga dovoljno brza u usporedbi s dinamikom vanjskog kruga. Kaskadnu regulaciju ne treba primjenjivati ako unutarnji krug nije barem tri puta brži od vanjskog kruga. Kad unutarnji krug nije bitno brži od vanjskog, postoji rizik interakcije između dvaju krugova koja može rezultirati s nestabilnosti.

Koristi od primjene kaskadne regulacije:

Kompensacija poremećaja – odziv unutarnjeg kruga znatno je brži od vanjskog, a unutarnji krug kompenzira poremećaje na upravljanom toku koji utječu na vanjski krug.

Brži odziv – u nekim slučajevima unutarnji krug će brže mijenjati procesnu varijablu (npr. protok) nego što to radi vanjski krug. Brži odziv smanjuje mrtvo vrijeme vanjskog kruga, pa se vanjski krug može ugoditi za brži odziv.

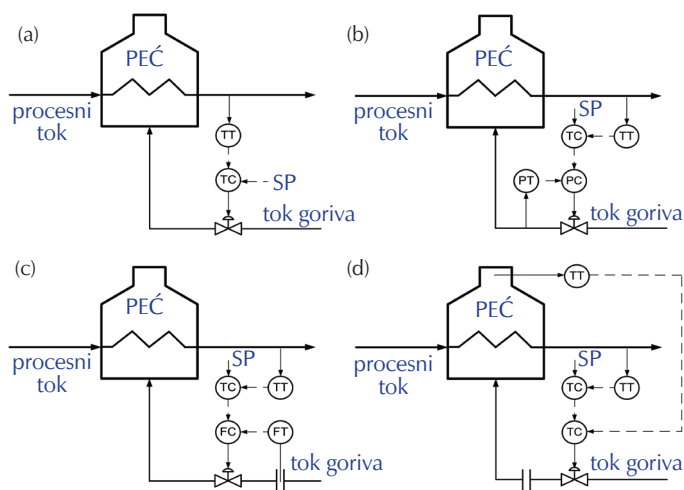
Izolacija nelinearnosti ventila – najlakši način kako riješiti problem nelinearnosti ventila je smanjiti "čvrstoću" regulacije (engl. *detune*) regulator tako da krug ostane stabilan bez obzira na promjene statičke karakteristike procesa. Međutim to usporava odziv i djelotvornost kompenzacije poremećaja. Primjenom kaskadne regulacije moguće je smanjiti agresivnost unutarnjeg kruga da bi se kompenzirale nelinearnosti ventila, što neće imati velikog utjecaja na vanjski krug. Na taj način rješava se problem nelinearnosti u vanjskom (primarnom) krugu.

Izolacija problema s ventilom – oscilacije zbog problema sljepijavanja u ventilu ostaju u unutarnjem krugu i nemaju utjecaja na vanjski. Oscilacije će imati manji period i bit će prigušene. To također vrijedi i za problem mrtvog pojasa posebno kod regulacije razine kad će se oscilacije znatno smanjiti.

Primjena kaskadne regulacije

Prilikom primjene kaskadne regulacije možemo se suočiti s pitanjem kako odabrati sekundarni krug. Ponekad postoji veći broj mogućnosti. Osnovni cilj bi trebao biti sljedeći: u vanjskom krugu treba biti što je više moguće zadržke, a istodobno u unutarnjem što više poremećaja.

Slika 4 prikazuje industrijsku peć koja zagrijava procesnu kapljevinu. Regulacija povratnom vezom je prikazana na slici 4a. Na slikama 4b-d prikazana su tri različita načina kaskadnog vođenja. Primarna vođena varijabla uvijek je ista – temperatura procesnog toka na izlazu iz peći, ali se u svakom primjenjuje drugi sekundarni krug. Pitanje glasi: koji je način kaskadnog vođenja najbolji?

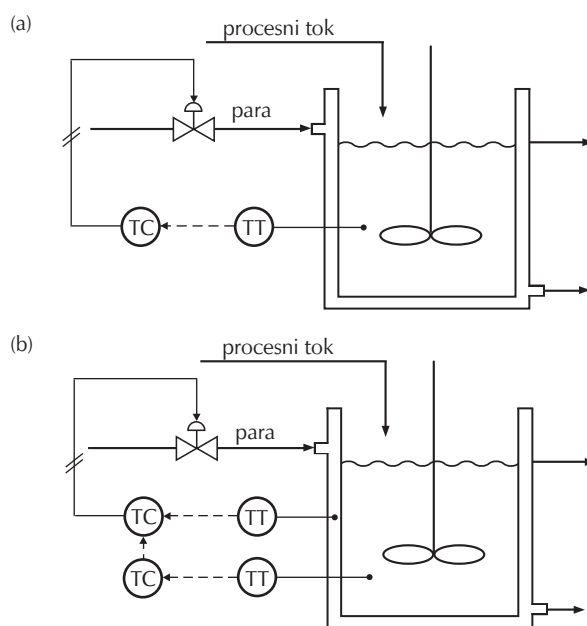


Slika 4 – Nekoliko načina izvedbe kaskadne regulacije

Da bismo odredili najprikladniji način kaskadne regulacije, moramo utvrditi koji su očekivani poremećaji u procesu. Dobro je pri tome napraviti listu od najvažnijeg prema manje važnima. Nakon toga ponovno razmatramo različite načine kaskadne regulacije i određujemo koji najbolje zadovoljava cilj vođenja. To znači što je moguću brži unutarnji krug u kojemu se javlja većina poremećaja.

Kod petrokemijskih procesa dobar izbor bit će regulacija temperature povezana u kaskadi s regulatorom protoka goriva (TC-FC) ili u kaskadi s regulatorom temperature dimnih plinova (TC-TC). Koji je način vođenja prikladniji, ovisi o intenzitetu i učestalosti pojave poremećaja na konkretnom procesu.

Još jedan tipičan primjer je reaktor s plaštem u kojem se temperatura u masi regulira u kaskadi s regulatorom temperature plašta (TC-TC). U plašt ulazi para promjenjivog tlaka i temperatura ovisno o potrošnji na drugim dijelovima postrojenja. To je način vođenja koji pokazuje značajne prednosti u usporedbi sa standardnom regulacijom s jednim krugom. Na slikama 5a i 5b prikazana je struktura standardne i kaskadne regulacije. Kaskadna regulacija je u ovom slučaju, također, bolji način regulacije.



Slika 5 – Standardna (a) i kaskadna (b) regulacija temperature u reaktoru s plaštem