

Nelinearno vodenje temperature hibridnega šaržnega reaktorja

Simon Štampar^{1,*} – Saša Sokolič¹ – Gorazd Karer²

¹ Metronik d.o.o., Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Slovenija

V tem članku je predstavljen nov koncept vodenja temperature šaržnega reaktorja z nelinearnim PI-regulatorjem. Na področju vodenja temperature šaržnega reaktorja obstaja veliko različnih naprednih algoritmov za vodenje, ki pa se zaradi kompleksnosti in zahtevnosti parametriziranja v praksi niso izrazito uveljavili.

Glavni cilj tega algoritma je izboljšati hitrost in natančnost vodenja temperature ter doseči hitro kompenzacijsko motenj, ki so posledica endotermnih in eksotermnih reakcij v šaržnih reaktorjih. Ti reaktorji se v večini premerov uporabljajo za proizvodnjo različnih tipov produkta, zato se njihova dinamika lahko zelo razlikuje od produkta do produkta. Natančno in hitro vodenje temperature takih tipov reaktorjev je težko doseči zaradi velikih sprememb zelene temperature, motenj, ki vplivajo na proces, ter mešane zvezne in diskretne (hibridne) narave procesa. Večina industrijskih šaržnih reaktorjev za vodenje temperature uporablja konvencionalne PI- in PID-regulacijske algoritme, ki pa ne omogočajo optimalnega vodenja temperature, vsaj ne na celotnem območju delovanja regulatorja. Zaradi tega in zaradi čedalje višjih ter strožjih zahtev po konkurenčnosti in optimizaciji stroškov proizvodnje, ki nam jih narekujejo globalni trgi, si prizadevamo znižati stroške vodenja temperature ter povečati kvaliteto in kvantiteto produktov z razvojem in uporabo naprednih algoritmov za vodenje.

Nelinearna komponenta algoritma nam zagotovi, da se z večanjem razlike (napake) med referenčno temperaturo in temperaturo v jedru reaktorja izhod regulacijskega algoritma povečuje veliko hitreje kot s konvencionalnim PI-regulatorjem, ki je najpogosteje uporabljen regulacijski algoritem za vodenje temperature šaržnih reaktorjev v industrijskem okolju. Zato nam takšen način vodenja omogoča velik regulirni izhod, ko smo daleč od referenčne temperature (zelo hitro sledenje referenčni temperaturi), in majhen regulirni izhod, ko smo blizu referenčnega signala (manjši kot s konvencionalnim PI-regulatorjem, kar posledično povzroča manj preklpov med grelno-hladilnimi mediji).

Pri razvoju nelinearnega PI-regulatorja smo veliko pozornosti posvetili njegovi enostavni zasnovi ter možnosti enostavne implementacije na krmilniški nivo. Zaradi široke uporabe šaržnih reaktorjev, predvsem v farmacevtski, kemični, prehrabeni in biološki industriji, mora biti algoritem za vodenje zasnovan tako, da ga lahko hitro in brez težav implementirajo procesni inženirji, ki nimajo veliko znanja na področju naprednih regulacijskih algoritmov.

Velika prednost tega algoritma je tudi v tem, da lahko njegovo stabilnost obravnavamo s kriterijem Popova, kar pri ostalih naprednih algoritmih predstavlja veliko težavo. Zato smo v članku dokazali stabilnost po Popovu pri odstopanju parametrov modela od realnega procesa ter analizirali robustnost algoritma. Analiza robustnosti je pomembna, saj se v realnem procesu lahko pojavi vrsta sistemov, ki dodajo red sistemu, kar povzroča, da izhod vodenja vpliva na temperaturo vsebine reaktorja z zakasnitvijo.

Rezultati simulacij so pokazali prednost predlaganega nelinearnega PI-algoritma v primerjavi s konvencionalnim kaskadnim PI-regulatorjem. Z identičnim referenčnim signalom smo s predlaganim algoritmom dosegli veliko hitrejše in natančnejše vodenje ter manjše število preklpov med grelno-hladilnimi mediji.

Učinkovitost algoritma smo dokazali tudi z implementacijo algoritma v industrijskem okolju, in sicer na bioreaktorju. Glavni cilj vodenja temperature je bilo v tem primeru hitro ter predvsem natančno njeno vodenje za dolge časovne intervale. Natančno vodenje je v tem primeru še posebej pomembno, saj lahko nihanje temperature za več kot $\pm 0,2$ °C poškoduje ali pa celo uniči žive celice v bioreaktorju.

Ključne besede: nelinearno vodenje procesov, kaskadno vodenje, šaržni reaktor, vodenje temperature