

# Modeliranje in analiza odziva sistema samodejnega hidravličnega krmiljenja debeline na stopnico

Yi Jiangang\*

<sup>1</sup> Univerza Jianghan, Državni laboratorij v Hubeiju  
za nadzor nad industrijskimi izpusti in onesnaževanjem s prahom, Kitajska

Debelina pločevine je eden glavnih kazalnikov kakovosti pločevine v procesu valjanja. Uveljavljena rešitev za izboljšanje natančnosti krmiljenja debeline pločevine je samodejno hidravlično krmiljenje (HAGC). V delovanju HAGC ima najpomembnejšo vlogo odziv na stopnico, saj določa hitrost valjanja in debelino jeklene pločevine, obenem pa vpliva na kakovost njene površine. Preizkus z odzivom na stopnico je metoda v časovni domeni za ugotavljanje dinamičnih lastnosti sistema. Uporablja se za opis dinamičnega odziva krmilnega sistema na vhodni signal v obliki stopnice. Za enakomerno debelino jeklene pločevine se morajo parametri odziva HAGC na stopnico sproti prilagajati dejanski debelini jeklene pločevine. Odziv HAGC na stopnico je odvisen od medsebojnih interakcij hidravličnih cilindrov, servoventilov in različnih senzorjev v sistemu, delovni čas pa je izjemno kratek (največ ena sekunda). Modeliranje, preizkušanje in analiziranje odziva HAGC na stopnico je zato ključnega pomena.

V članku je najprej analiziran postopek preizkušanja odziva HAGC na stopnico in opisani so glavni delovni parametri. Nato je s pomočjo prenosnih funkcij postavljen testni model odziva na stopnico. Predlagani model z izbranimi delovnimi parametri je bil simuliran s paketom MATLAB. Za skrajšanje časa ustalitve in največjega prenihaja HAGC je bil v shemo za test odziva na stopnico dodan člen PID. Sledi primerjava in analiza rezultatov simulacij modela za preizkušanje odziva na stopnico s konvencionalnim členom PID in brez njega. Na podlagi tega je za kompenzacijo vhodnega signala predlagan adaptivni proporcionalno-integrirno-diferencni (APID) člen z uporabo nevronske mreže z vzratnim postopkom učenja (BPNN). Končno so bile opravljene še simulacije in eksperimenti za verifikacijo učinkovitosti izboljšane modela preskušanja odziva na stopnico.

Test odziva HAGC na stopnico je pokazal, da je težko uravnovežiti stabilnost in fleksibilnost sistema. Dodajanje ustreznega člena za kompenzacijo vhodnega signala se je izkazalo kot primerna rešitev za izboljšanje učinkovitosti krmiljenja s sistemom HAGC. Dodani člen PID sicer omogoča skrajšanje časa ustalitve in zmanjšanje prenihaja, toda konvencionalni PID-algoritem pri HAGC v začetni fazi povzroča trepetanje. Vzrok tiči v konstantnih parametrih PID konvencionalnega PID-algoritma med preizkusom odziva na stopnico. Ta je v realni proizvodnji jeklene pločevine nelinearen in časovno spremenljiv zaradi interakcij med servoventili, cilindri in senzori sistema HAGC, parametre PID sistema HAGC pa je zato treba prilagajati vhodnim in izhodnim signalom.

V izboljšanem modelu za preizkušanje odziva na stopnico s členom APID je uporabljena mreža BPNN za adaptivno izračunavanje ustreznih parametrov PID na podlagi učenja s pridobljenimi vzorci. Mreža je sestavljena iz vhodne plasti z dvema nevronoma, skrite plasti s štirimi nevroni in izhodne plasti s tremi nevroni. Rezultati simulacij kažejo, da zasnovani model odziva na stopnico s členom APID učinkovito odpravlja trepetanje, zmanjša prenihaj, skrajša čas ustalitve ter pospeši dinamični odziv sistema HAGC. Pri uporabi algoritma APID in konvencionalnega algoritma PID je bila izmerjena sprememba debeline jeklene pločevine v času 100 ms. Eksperimenti so pokazali, da sprememba debeline v preizkusu odziva HAGC z APID na stopnico ni večja od 0,06 mm, površinske nepravilnosti pa se sčasoma zmanjšajo. Sprememba debeline pri konvencionalnem PID-algoritmu je 0,30 mm, torej bistveno večja kot z APID. Eksperimentalni rezultati se ujemajo z rezultati simulacij, izboljšani model odziva na stopnico pa omogoča stabilnejše in hitrejše valjanje jeklene pločevine. Izboljšani model preizkušanja odziva na stopnico s členom APID lahko skrajša čas ustalitve in zmanjša prenihaj, odpravi pa tudi trepetanje sistema HAGC v začetni fazi za večjo kakovost površine jeklene pločevine. V nadaljnjih raziskavah bo analiziran vpliv na odziv na stopnico tudi za druge komponente sistema HAGC, kot so hidravlične cevi in hidravlične črpalke.

**Ključne besede:** odziv na stopnico, HAGC, PID, umetne nevronske mreže, simulacija, eksperiment