

Modeliranje in kompenzacija histerez pri pnevmatičnih umetnih mišicah po posplošenem modelu Prandtl-Ishlinskii

Jiangping Mei – Shenglong Xie – Haitao Liu* – Jiawei Zang

Ministrstvo za šolstvo, Univerza v Tianjinu, Državni laboratorij za teorijo mehanizmov in konstrukcijo, Kitajska

Pnevmatične umetne mišice (PAM) so s svojim velikim razmerjem med močjo in maso ter dobro podajnostjo pritegnile veliko pozornosti tako v industriji kot v akademskih krogih. Inherentne nelinearnosti v obliki histerez (sila/dolžina, dolžina/tlak) pri PAM pomembno vplivajo na točnost krmiljenja gibanja po trajektoriji in v zadnjih letih je bilo zato opravljenih veliko študij za odpravo negativnih vplivov histerez. Modele histerez pri PAM je v grobem mogoče razdeliti v modele na podlagi operatorjev in modele na podlagi diferencialnih enačb. Modeli iz prve skupine, kot so modeli Preisach, Prandtl-Ishlinskii (PI) in Maxwell-Slip, uporabljajo za karakterizacijo histerez različne matematične operatorje. V drugo skupino modelov na podlagi diferencialnih enačb spadajo modeli Duhem, LuGre, Bouc-Wen in drugi. Najbolj razširjen je model PI, saj ima prednost omejenega števila elementov in analitične inverzije. Omeniti je treba, da klasični model PI ne omogoča popisa asimetričnih lastnosti histereze in nasičenja zaradi simetričnosti linearnih operatorjev zračnosti. Za razrešitev tega problema se intenzivno preučujejo asimetrični pristopi k modeliranju histerez, še posebej za pametne materiale, feromagnetne materiale in pametne aktuatorje. Le nekaj raziskav pa osvetljuje učinkovitost uporabe modela PI pri PAM.

Članek obravnava posplošen model Prandtl-Ishlinskii (GPI) in njegov inverzni model za popis asimetrične histereze dolžina/tlak pri PAM. Predlagani model GPI za razliko od klasičnega modela Prandtl-Ishlinskii (CPI) uporablja hiperbolično tangentno funkcijo kot ovojnično funkcijo posplošenih operatorjev zračnosti za karakterizacijo asimetričnih histereznih zank, saj je omenjena funkcija primernejša za ta namen.

Pred eksperimentalno verifikacijo predlaganega modela GPI je treba opraviti identifikacijo parametrov, kar pa v tem primeru nikakor ni preprosto zaradi velikega števila dimenzij, močne nelinearnosti in več omejitev. Za reševanje problema identifikacije parametrov pri modelih histereze je bilo razvitih več algoritmov, kot so optimizacija z rojem delcev, genetski algoritmi, evolucijska strategija s prilagojeno kovariančno matriko idr. V tem članku je bila za identifikacijo parametrov modela GPI uporabljena metoda Levenberg-Marquardt z iskanjem minimuma kvadratne stroškovne funkcije, s katero je identifikacija prikladnejša in učinkovitejša. Rezultati identifikacije parametrov kažejo, da je model GPI primeren za karakterizacijo velikih in malih asimetričnih histereznih zank dolžina/tlak pri PAM.

Za kompenzacijo histereze dolžina/tlak je bila razvita strategija krmiljenja z upoštevanjem motnje in povratno zanko, ki omogoča krmiljenje PAM po trajektoriji z veliko točnostjo. Zasnovan je bil kompenzator z upoštevanjem motnje na podlagi inverznega modela GPI, ki zmanjšuje vpliv histereze dolžina/tlak. Inverzni model GPI preslika želeno trajektorijo v vhodni krmilni signal za proporcionalni tlačni regulator in na ta način je linearizirana odvisnost med želeno trajektorijo in dejansko dolžino. Ker točnost modela histereze vpliva na uspešnost krmilnika z upoštevanjem motnje, je bila krmilniku dodana povratna zanka za zmanjšanje napake sledenja, ki jo povzročajo vibracije in lezenje. Iz rezultatov eksperimentov sledi sklep, da predlagani model GPI in njegov inverz učinkovito kompenzirata vplive histereze dolžina/tlak pri realnočasovnih aplikacijah. Ker pa je v posplošenem operaterju zračnosti uporabljena simetrična ovojnična funkcija, je sposobnost tega modela za karakterizacijo asimetričnih histereznih zank omejena. Krmilnik s povratno zanko v kombinaciji s kompenzatorjem z upoštevanjem motnje na podlagi asimetričnega modela GPI bo zato predmet prihodnjih raziskav, s ciljem dodatnega izboljšanja krmiljenja po trajektoriji.

Ključne besede: pnevmatična umetna mišica (PAM), nelinearnost zaradi histereze, posplošeni model Prandtl-Ishlinskii (GPI), krmiljenje po trajektoriji, metoda Levenberg-Marquardt, identifikacija parametrov