

# Parametrična analiza natančnosti korakanja koračnega motorja s krempljastimi poli in trajnim magnetom

Jan Škofic<sup>1</sup> – David Koblar<sup>2</sup> – Miha Boltežar<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> Iskra-Mehanizmi, Slovenija

<sup>2</sup> Domel, Slovenija

<sup>3</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Pri koračnih motorjih s krempljastimi poli in trajnim magnetom, katerih glavna lastnost je natančno kotno pozicioniranje rotorja, v procesu razvoja hitro naletimo na težave pri zagotavljanju natančne pozicije tako pri polno-koračnem režimu, kot tudi pri mikro-koračnem režimu krmiljenja. Čeprav napaka pozicije ni akumulativna, je takšno delovanje v večini primerov nesprejemljivo in hkrati izkazuje slabšo kvaliteto izdelka. V tem prispevku je obravnavan pristop modeliranja gibanja rotorja ter parametrična analiza vplivnosti obsežnega števila parametrov geometrije motorja za pridobitev širokega zornega kota razumevanja obnašanja obravnavanega motorja.

Modificiran pristop modeliranja gibanja rotorja, tako v rotacijski kot tudi aksialni smeri, je sestavljen iz treh temeljnih segmentov. Za izračun poteka sil in navorov na rotor motorja v odvisnosti od kota zasuka se uporabi celoten 3D MKE model motorja brez predpostavljenih simetrij. Pri tem se trajen magnet modelira s pristopom spremenjene geometrije, ki omogoča realno sinusno porazdelitev gostote magnetnega polja in direkten vnos magnetnih lastnosti uporabljenega magnetnega prahu. Preračunavanje obsežnega modela za vse kombinacije tokov v tuljavah je časovno potratno, zato metoda v drugem segmentu omogoča enostavno rekonstrukcijo željenih navornih krivulj iz osnovnih primarnih štirih krivulj. V zadnjem segmentu s pomočjo novega sistema diferencialnih enačb za popis rotacijskega in aksialnega gibanja izračunamo korakanje motorja. Simulacija gibanja poteka ločeno od MKE modela (uporablja le matriko motornih navorov in sil, pridobljenih v drugem segmentu metode) in je zato zelo hitra, kar omogoča praktično neomejene možnosti simuliranja premikov rotorja. Aksialno gibanje rotorja ima zelo majhen vpliv na rotacijsko gibanje in je zato praviloma zanemarljivo. Pomembnejšo vlogo aksialni premiki igrajo v vibro-akustičnih aspektih motorja in kasneje mehatronskega sklopa, saj lahko močno vzbudijo strukturo in posledično generirajo nesprejemljiv hrup.

Validacija modela je bila izvedena z eksperimentom na prototipnem motorju z enakimi geometrijskimi in materialnimi lastnostmi kot pri modelu. Rotacijski premiki so bili merjeni z miniaturnim enkoderjem, pritrjenim na gred motorja. S tem dodana vztrajnost in trenje enkoderja sta bili upoštevani v modelu za povečanje realnosti in pridobitev ustreznega ujemanja.

Validiran model je bil uporabljen za analizo vplivnosti parametrov geometrije motorja na natančnost korakanja motorja. Poleg parametrov krempljastih polov sta obravnavani še variaciji razmaka med posameznima fazama in višina trajnega magneta rotorja. Več kot 20 virtualnih prototipov je bilo nato analizirano na področju zadrževalnega in aktivnega navora ter natančnosti korakanja v 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 – koračnem režimu. Rezultati maksimalnih vrednosti navorov, simetričnosti naklonov krivulj v stabilnih legah in napake dolžin korakov v posameznih režimih so za enostavnejšo berljivost predstavljene tako v tabelarni kot grafični obliki. Rezultati analize ponujajo konkretno rešitev za izboljšanje natančnosti korakanja koračnega motorja. Hkrati je podan obsežen pregled nad posameznimi vplivi na natančnost korakanja, kar omogoča učinkovitejše konstruiranje (optimiranje) tega tipa naprav in s tem zmanjšuje število potrebnih simulacij za dosego cilja.

**Ključne besede:** koračni motor, trajni magnet, metoda končnih elementov, magnetostatika, navor, simulacija gibanja