

Simuliranje strukturnega hrupa pri PWM vzburjanju s pomočjo razširjene metode rekonstrukcije magnetnega polja in modalne dekompozicije

Janez Luznar¹ – Janko Slavič^{2,*} – Miha Boltežar²

¹Domel, d.o.o., Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Cilji raziskave so:

- Predstaviti metodo hitrega izračuna hrupa pri PWM vzburjanju, ki temelji na nedavno predstavljeni razširjeni metodi rekonstrukcije magnetnega polja (EFRM).
- Predstavljena metoda naj omogoča učinkovit in točen izračun strukturnega hrupa pri različnih PWM vzburjanjih.
- Z uporabo predstavljenih metode je možen izračun parametrične analize hrupa pri različnih PWM preklopnih frekvencah, ki vodi do 30 dB(A) razlike v celotni ravni zvočne moči.

Hitrost in navor elektronsko komutiranih motorjev krmilimo s pomočjo pulzno-širinske modulacije (PWM). Slednja vpliva na fazne tokove motorja, kjer se poleg osnovne, želene frekvenčne komponente, pojavijo tudi številni visoko-frekvenčni preklopni harmoniki. Ti se odražajo v vzbujevalnih elektromagnetnih silah, vibracijskem odzivu in končnemu strukturnemu hrupu. Slednji predstavlja multifizikalni problem, ki ga lahko simuliramo z uporabo MKE analiz za popis električne, elektromagnetne, strukturne in akustične domene. Tak pristop je računsko neučinkovit in zato neprimeren za parametrične analize, s katerimi bi lahko določili ustrezno PWM preklopno frekvenco za zmanjšanje hrupa.

Metodologija raziskovanja omenjene problematike obsega pregled literature in numerično modeliranje. Numeričen model popisuje multifizikalno dogajanje elektronsko komutiranega motorja, ki vključuje naslednja znanstvena področja: elektroniko, elektromagnetiko, strukturno dinamiko in akustiko. Na podlagi pregleda literature omenjenih področij in upoštevanja zadnjih dognanj na področju numeričnega modeliranja hrupa je razvita in predlagana metoda hitrega simuliranja hrupa pri PWM vzburjanju.

Predstavljena metoda hitrega simuliranja strukturnega hrupa pri PWM vzburjanju je validirana s pomočjo komercialnega paketa ANSYS 18.1. Glavna prednost predstavljenih metode je računsko učinkovitost, zaradi česar je omogočen izračun parametričnih analiz. Slednje smo izvedli za 197 različnih PWM vzburjanj, ki jih s predstavljenimi metodo izračunamo v 10 minutah, medtem ko bi z uporabo le komercialnih orodij izračun trajal več kot 600 dni (tj. bistveno daljši čas). S pomočjo parametrične analize smo ugotovili, da ustrezna izbira PWM preklopne frekvence lahko zmanjša celotno raven zvočne moči tudi do 30 dB(A).

Predstavljena metoda hitrega izračuna hrupa pri PWM vzburjanju temelji na uporabi EFRM, katera zanemarja križno korelacijo magnetenja d in q osi. V nadaljevanju bi lahko raziskali še detajlni vpliv te zanemaritve in možnosti izboljšanja.

Detajlna dinamska sklopljenost med PWM vzburjanjem in strukturnim hrupom motorja je bila nedavno raziskana že eksperimentalno, v tem članku pa je predstavljena še možnost numeričnega simuliranja. Najprej je preučen konvencionalni pristop z uporabo MKE analiz, ki je pri podobnih raziskavah pogosto uporabljen, a je za primer PWM vzburjanja računsko zelo zahteven in posledično neprimeren za parametrične analize. Zato smo razvili in validirali metodo hitrega izračuna hrupa pri različnih PWM vzburjanjih, ki temelji na uporabi razširjene metode rekonstrukcije magnetnega polja (EFRM) za pohitritev tranzientnih magnetnih MKE analiz. V primerjavi z drugimi raziskavami smo tako prvi vpeljali EFRM za reševanje vibroakustičnih problemov elektronsko komutiranih motorjev. Uporabljena EFRM v kombinaciji z metodo modalne dekompozicije omogoča računsko učinkovito simuliranje strukturnega hrupa pri PWM vzburjanju in posledično tudi numerično določitev dinamske sklopljenosti med elektronsko komutacijo in strukturnim hrupom.

Ključne besede: elektromagnetne sile, modalna dekompozicija, preklopna frekvenca PWM, razširjena metoda rekonstrukcije magnetnega polja, strukturni hrup

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija, janko.slavic@fs.uni-lj.si