

Določitev verjetnosti preživetja nelinearnega sistema MDOF v pogojih evolucijskega stohastičnega vzbujanja

Ioannis P. Mitseas^{1,4*} – Ioannis A. Kougioumtzoglou² – Pol D. Spanos³ – Michael Beer^{1,4,5}

¹ Leibnizova univerza v Hannoveru, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Nemčija

² Univerza Columbia, Oddelek za gradbeništvo in tehnično mehaniko, ZDA

³ Univerza Rice, Katedra L. B. Ryona za inženirstvo, Oddelek za strojništvo, ZDA

⁴ Univerza v Liverpoolu, Institut za tveganja in negotovost in Tehniška šola, Združeno kraljestvo

⁵ Univerza Tongji, Šola za gradbeništvo in Institut v Šanghaju za preprečevanje in pomoč ob nesrečah, Kitajska

Naravne sile, ki vzbujajo dinamične sisteme, kot so npr. veter, valovi in seizmične obremenitve, so pogosto evolucijske narave. V takšnih pogojih se močno spreminja tako intenzivnost vzbujanj kakor tudi njihova frekvenčna vsebina. Ta razred strukturnih obremenitev je zato treba popisovati z nestacionarnimi stohastičnimi procesi. Močno vzbujani konstrukcijski sistemi lahko izkazujejo tudi značilno nelinearno vedenje s histerezami. Za skupnost, ki se ukvarja z dinamiko konstrukcij, je zato zelo pomemben razvoj tehnik za določanje odziva in vrednotenje zanesljivosti nelinearnih/histereznih sistemov, izpostavljenih evolucijskim stohastičnim vzbujanjem.

Zanesljivostna analiza dinamičnega sistema je tesno povezana z določitvijo verjetnosti, da bo odziva sistem ostal znotraj predpisanih meja v določenem časovnem intervalu. Določitev omenjene časovno odvisne verjetnosti, ki je znana tudi kot verjetnost preživetja, že desetletja predstavlja izziv na področju stohastične dinamike. Alternativna definicija tega problema, znana tudi kot problem prvega prehoda, je vrednotenje verjetnosti, da bo odziv sistema prvič presegel vnaprej določen prag v danem časovnem intervalu.

Eno najmočnejših orodij za vrednotenje zanesljivosti sistema so simulacije Monte Carlo. Obstajajo pa primeri, ko je računski zahtevnost teh tehnik prevelika, še posebej pri velikih in kompleksnih sistemih. Zato obstaja potreba po razvoju alternativnih učinkovitih aproksimativnih analitičnih/numeričnih tehnik za reševanje problema prvega prehoda.

Razvita je bila aproksimativna analitična tehnika za določanje časovno spremenljive verjetnosti preživetja in povezane funkcije gostote verjetnosti prvega prehoda (PDF) za nelinearen/histerezni sistem z več prostostnimi stopnjami (MDOF) v pogojih evolucijskega stohastičnega vzbujanja. Na podlagi učinkovitega pristopa za zmanjšanje števila dimenzij ter konceptov stohastičnega povprečenja in statistične linearizacije je bil izvorni nelinearni sistem z n prostostnimi stopnjami razstavljen in preveden v n linearnih časovno spremenljivih (LTV) oscilatorjev s po eno efektivno eno prostostno stopnjo (SDOF), ki ustrezajo posameznim izhodiščnim prostostnim stopnjam. Definirana in izračunana sta časovno spremenljiva dejanska togost in dušenje za vsako posamezno prostostno stopnjo, amplitude PDF za nestacionarni marginalni, tranzitorni in skupni odziv pa so bile učinkovito določene z izrazi zaprte oblike. Končno so bile na računsko učinkovit način določene še PDF za verjetnost preživetja in prvi prehod sistema MDOF. Razvita tehnika je vsestranska, saj je z njo mogoče obravnavati razna nelinearna vedenja ter razna stohastična vzbujanja s poljubnimi neločljivimi oblikami evolucijskega spektra moči (EPS), ki izkazujejo močno spremenljivost intenzivnosti in frekvenčne vsebine. V numeričnih primerih je vključen tudi nelinearni sistem s tremi prostostnimi stopnjami po modelu Bouc-Wen. Zanesljivost tehnike dokazujejo primerjave z relevantnimi simulacijami Monte Carlo.

Ključne besede: problem prvega prehoda, nelinearna stohastična dinamika, evolucijski stohastični procesi, nelinearni/histerezni sistemi, verjetnost preživetja, statistična linearizacija