

Pregled digitalnih blizanaca energetske elektronike u savremenim mikromrežama

Sažetak

Ovaj pregled daje osnove razvoja digitalnog blizanca (DT) za pretvarače energetske elektronike u savremenim mikromrežama (MG). Osnovna ideja je da DT, kao „živi“ par fizičkom sistemu smanjuje odstupanje između laboratorijskih simulacija i realnih sistema, te omogućava kontinuirano usklađivanje modela i opreme, bržu verifikaciju upravljačkih algoritama i dublji uvid u degradaciju i pouzdanost pretvarača. Pored pojmovnog okvira i historijskog razvoja, kroz pregled su dati modeli (fizikalni, data-driven, hibridni) i komunikaciona infrastruktura, te reprezentativni primjeri implementacije DT-a i sistemskih arhitektura (Digital Twin System, DTS; System of Digital Twin Systems, SDTS). Analiza pokazuje da hibridni pristupi kao spoj fizikalno utemeljenih modela i učenja iz podataka (Physics-Informed Machine Learning, PIML) najčešće daju najbolji odnos tačnosti, robusnosti i izvodljivosti u realnom vremenu. Ključni praktični zahtjevi su deterministička akvizicija, jasno raspodijeljene komponente latencije, edge-first raspored funkcija (RT/FPGA/SoC), te dosljedne QoS i sigurnosne politike. Na nivou mikromreža (MG) DT dobija puni smisao unutar DTS/SDTS hijerarhija, uz povezanost sa sistemom za upravljanje energijom (EMS). Identifikovane su prepreke: terminološka nejednačenost, nedostatak standardizovanih profila i metrika, te potreba da se cyber-sigurnost planira od početka. Istaknuto je da DT postaje pouzdan inženjerski alat ne samo za validaciju i nadzor pojedinačnih pretvarača, već i za operativnu optimizaciju i robusnost savremenih mikromreža.

Ključne riječi: digitalni blizanac (DT), energetske pretvarači, mikromreže (MG), energetska elektronika, hibridno modeliranje, fizikalno informisano mašinsko učenje (PIML), sistem digitalnog blizanca (DTS), sistem sistema digitalnih blizanaca (SDTS).