

Možnosti pokrivanja dnevnih nihanj proizvodnje električne energije s fotovoltaičnimi paneli z jedrsko elektrarno v sledilnem režimu

Samo Gerkšič, Damir Vrančič, Dušan Čalič, Gašper Žerovnik, Luka Snoj
Inštitut Jožef Stefan
Jamova 39, 1000 Ljubljana
Samo.Gerksic@ijs.si

A perspective of covering daily fluctuations of electrical energy production from photovoltaic panels using a load-following nuclear power plant

We were researching the feasibility and the limitations of using nuclear energy as a dispatchable electrical power source for covering the daily fluctuations of the energy production from photovoltaic panels. In particular, we were investigating the perspective of electrical energy production in Slovenia until 2050, focussing on the projected rapid increase in the solar energy production and the implied large-scale annual and daily fluctuations. We presented a simulation study based on a nonlinear pressurized water reactor (PWR) model with 2-point neutron kinetics controlled by two groups of control rods using a new simplified control approach. We described the relevant actuator nonlinearities and the controllability issue affecting this control configuration. We have shown that a load-following nuclear power plant can compensate for a large portion of the expected power fluctuations.

Kratek pregled prispevka

Raziskovali smo možnosti in omejitve uporabe jedrske energije kot prilagodljivega vira električne energije za pokrivanje dnevnih nihanj proizvodnje energije iz fotovoltaičnih (FV) panelov. Preiskovali smo perspektivo proizvodnje električne energije v Sloveniji do leta 2050, pri čemer smo se osredotočili na predvideno hitro povečanje proizvodnje FV energije in na to povezana velika letna in dnevna nihanja. Predstavili smo simulacijsko študijo, ki temelji na nelinearnem modelu tlačnovodnega jedrskega reaktorja (PWR) z 2-točkovno nevtronsko kinetiko, kjer se vodenje izvaja z dvema skupinama krmilnih palic z uporabo novega poenostavljenega regulacijskega pristopa. Opisali smo pomembne nelinearnosti aktuatorja in problem vodljivosti sistema, ki je prisoten pri tej konfiguraciji krmiljenja. Pokazali smo, da jedrska elektrarna s sposobnostjo sledilnega obratovanja lahko kompenzira velik del pričakovanih nihanj moči.

1 Uvod

Projekcija proizvodnje električne energije v Sloveniji do 2050 predvideva strm porast deleža proizvodnje električne energije iz FV panelov [1,2], ki naj bi predstavljala skoraj tretjino celotne proizvodnje električne energije in nadomestila fosilne vire.

Iz zgodovinskih podatkov o FV proizvodnji električne energije za leto 2020 [3] lahko razberemo, da ima letni profil proizvodnje očiten manjko v zimskih mesecih, npr. decemberska FV

proizvodnja je bila le 16% letnega povprečja. Ekonomičnost sezonskega shranjevanja energije v tolikšnem obsegu je skrajno vprašljiva, zato je v odsotnosti fosilnih virov pokrivanje zimskega primanjkljaja s fleksibilno jedrsko elektrarno najverjetnejša rešitev.

Dodatni problem pri visokem deležu FV proizvodnje v omrežju so dnevna nihanja, ker ima sončna energija izrazit dnevno pulzirajoč profil, ki je bil glavna tema te študije. Pokrivanje dnevnih nihanj je načeloma bolj smiselno z dnevno akumulacijo energije, vendar je pri

predvidenem obsegu še vedno vprašljiva njena ekonomičnost. PWR reaktorji imajo omejitve glede možnosti hitrega prilagajanja moči zaradi dinamike koncentracije ^{135}Xe in specifične izvedbe aktuatorjev, pri čemer je potrebno preprečiti oscilacije porazdelitve moči vzdolž vertikalne osi reaktorja. Pri sodobnih PWR reaktorjih se vodenje izvaja pretežno z dvema skupinama krmilnih palic ("mechanical shim"), tako da niso potrebne večje spremembe koncentracije bora v hladilni vodi [4]. Zmožnost hitrega prilagajanja moči smo preverjali s simulacijsko študijo na podlagi nelinearnega modela PWR reaktorja z dvotočkovno nevtronsko kinetiko. Razvili smo novo poenostavljeno izvedbo vodenja v obliki dvozančne PID regulacije. Opisali smo pomembne nelinearnosti aktuatorja in problem vodljivosti sistema, ki je prisoten pri tej konfiguraciji krmiljenja. Pokazali smo, da jedrska elektrarna s sposobnostjo sledilnega obratovanja lahko kompenzira velik del pričakovanih dnevnih nihanj moči zaradi dnevnega profila FV proizvodnje.

2 Literatura

- [1] SUČIĆ, B., MERŠE, S., PUŠNIK, M., ČESEN, M., JANŠA, T., STEGNAR, G., PETELIN-VISOČNIK, B., URBANČIČ, A., CIMERMAN, F., JAMŠEK, S., DRAGAŠ, K., KOŠNJEK, E., MALI, B., KRAJNC, N., SLABE ERKER, R., MAJCEN, B., KOŠNJEK, Z., PRETNAR, G., VERBIČ, J., CIRMAN, A., ZORIĆ, J.. *Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt Republike Slovenije*. Ljubljana: Vlada Republike Slovenije, 2020.
- [2] CRNČEC, D., SUČIĆ, B., MERŠE, S., "Slovenia: Drivers and challenges of energy transition to climate neutrality". In: MIŠÍK, Matúš, ORAVCOVÁ, Veronika (eds). *From economic to energy transition: Three decades of transitions in Central and Eastern Europe*. Cham: Palgrave Macmillan, 2021, pp. 247-282. ISBN 978-3-030-55084-4, DOI: 10.1007/978-3-030-55085-1_9
- [3] ENTSO-E Transparency Platform, Central collection and publication of electricity generation, transportation and consumption data and information for the pan-European market. <https://transparency.entsoe.eu/dashboard/show>
- [4] Drudy, K. J., Mueller, N. P., Richter, E. A., 2014. Method of achieving automatic axial power distribution control. U.S. Patent No. 8699653.