

Ljiljana Kostić  
Institut "Boris Kidrič", Vinča

PRIMENA PARCIJALNE KORELACIONE ANALIZE U ISTRAŽIVANJU DINAMIKE  
BWR ŠUMA

THE USE OF THE PARTIAL COHERENCE FUNCTION TECHNIQUE FOR THE  
INVESTIGATION OF BWR NOISE DYNAMICS

SADRŽAJ: Obimna eksperimentalna istraživanja, u poslednje vreme, pokazuju da bi parcijalne koherentne tehnike mogle da se razviju u moćan metod za istraživanje dinamike BWR šuma.

Jednostavan dinamički model za proučavanje globalnog BWR šuma, na bazi velikog broja različitih stohastičkih fenomena, je predložen u ovom radu.

ABSTRACT: The extensive experimental investigations, at the last time, indicate that the partial coherence function technique can be a powerful method of the investigation of BWR noise dynamics.

Simple BWR noise dynamics model for the global noise study, based on different noise phenomena, is proposed in this paper.

UVOD

Najnovija eksperimentalna istraživanja pokazuju da primena parcijalnih koherentnih funkcija može da se razvije u snažan metod za istraživanje dinamike šuma u BWR reaktorima.

Koherentna i parcijalna koherentna istraživanja upotpunjena merenjima faznog pomaka mogla bi da dovedu do kompletnog razumevanja linearne dinamike reaktorskog sistema.

Posmatrajmo dva reaktorska slučajna signala  $X_1(t)$  i  $X_2(t)$ , za koja predpostavljamo da su jako koherentna za datu frekvencu. Koherenca ovih signala definisana običnom koherentnom funkcijom karakteriše tzv. "zajedništvo" reaktorskih promenljivih. Visoka vrednost koherence znači da pojave fluktuiraju zajedno ali ne i

i da postoji direktna veza između njih. Koherenca između  $X_1(t)$  i  $X_2(t)$  može da bude samo prividna što znači da je "zajedništvo" prouzrokovano uticajem treće pojave  $X_3(t)$  koja je povezana i sa  $X_1(t)$  i sa  $X_2(t)$ .

Parcijalna koherentna funkcija između  $X_1(t)$  i  $X_2(t)$  uslovljena sa  $X_3(t)$  eliminiše uticaj  $X_3(t)$  i meri "direktnu koherencu" između  $X_1$  i  $X_2$ . U slučaju samo prividne koherentnosti prouzrokovane trećom promenljivom, parcijalna koherentna funkcija bi bila jednaka nuli.

Prividna koherentnost između dve promenljive može češće da bude prouzrokovana skupom promenljivih a ne samo jednom promenljivom. U takvim slučajevima parcijalna koherentna funkcija između  $X_1(t)$  i  $X_2(t)$  je uslovljena skupom promenljivih koje utiču na korelaciju datih promenljivih.

U BWR reaktorima primenom parcijalne koherence sledeći signali šuma bi mogli da se analiziraju: snaga, pritisak u sudu, ukupan vođeni protok, protok sveže vode, nivo vode kao i recirkulacioni protoci.

#### TEORIJSKI MODEL

Problem istraživanja velikog broja različitih interakcija između signala koji karakterišu dinamiku BWR šuma ispod 1 Hz treba razlikovati od pokušaja identifikacije izvora koji stvaraju šum. Predstavimo šum BWR reaktora m-dimenzionalnim vektorom  $X(t)$ . Neka komponente ovog vektora budu fluktuacije snage ( $X_1(t)$ ) i fluktuacije procesnih signala ( $X_2(t), X_3(t), \dots, X_m(t)$ ). Korišćenjem frekventne predstave, fluktuacija i-te promenljive je data sa:

$$X_i(\omega) = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^m G_{ik}(\omega) \cdot X_k(\omega) + Z_i(\omega) \quad (1)$$

Suma na desnoj strani jednačine predstavlja prilog ostalih m-1 promenljivih na fluktuacije i-te promenljive. U opštem slučaju, i-ta promenljiva bi fluktuirala čak i ako su sve prenosne funkcije  $G_{ik}(\omega)$  ( $k=1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, m$ ) jednake nuli. Član  $Z_i(\omega)$  sadrži u sebi taj efekat i predstavlja onaj deo fluktuacije promenljive  $X_i(\omega)$  koji nije izazvan fluktuacijama osta-

lih  $m-1$  promenljivih.  $Z_i(\omega)$  možemo da nazovemo "sopstveni šum"  $i$ -te promenljive i da ga posmatramo u  $i$ -tom elementu  $m$ -dimenzionog vektora  $Z(\omega)$ . U matricnoj formi jednačina (1) bi imala sledeći oblik:

$$X(\omega) = G(\omega) \cdot X(\omega) + Z(\omega) \quad (2)$$

Matrica  $G(\omega)$  sadrži prenosne funkcije  $G_{ik}(\omega)$ ; tj. predstavlja linearnu dinamiku sistema. Dijagonalni elementi ove matrice su nule. Njena prva vrsta ( $0, G_{12}, G_{13}, \dots, G_{1m}$ ) predstavlja prilog procesnih signala fluktuaciji snage a prva kolona ( $0, G_{21}, G_{31}, \dots, G_{m1}$ ) predstavlja uticaj ostalih reaktorskih promenljivih na snagu reaktora i može da se posmatra kao povratna sprega reaktivnosti.

Rešenje jednačine (2) vodi do

$$X(\omega) = H(\omega) \cdot Z(\omega) \quad (3)$$

gde je:

$$H(\omega) = (I - G(\omega))^{-1} \quad (4)$$

Simbol  $I$  označava  $m$ -dimenzionu jediničnu matricu,

Sa stanovišta jed. (3), vektor  $X(\omega)$ , koji predstavlja ukupan BWR šum, je indukovan vektorom  $Z(\omega)$  koji sadrži nekoherentne članove šuma promenljivih. Spravom se može posmatrati  $Z(\omega)$  kao pobudni izvor BWR šuma na čatoj frekvenci.

Predpostavimo da su promenljive  $Z_i, Z_k$  ( $i, k=1, 2, \dots, m$ ) nezavisni procesi tipa belog šuma i definišemo sledeće matrice.

$$Z^2 = \begin{matrix} \langle Z_1^2 \rangle & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \langle Z_2^2 \rangle & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \langle Z_3^2 \rangle & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \langle Z_4^2 \rangle & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \langle Z_m^2 \rangle \quad (5)$$

$$\mathbf{S}(\omega) = \begin{pmatrix} S_{11}(\omega) & S_{12}(\omega) & \dots & S_{1m}(\omega) \\ S_{21}(\omega) & S_{22}(\omega) & & S_{2m}(\omega) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ S_{m1}(\omega) & S_{m2}(\omega) & & S_{mm}(\omega) \end{pmatrix} \quad (6)$$

Veličine  $\langle z_1^2 \rangle$ ,  $\langle z_2^2 \rangle$ , ...,  $\langle z_m^2 \rangle$  su drugi momenti nezavisnih procesa šuma.  $\Sigma^2$  je kovarijansna matrica promenljivih  $z_1, z_2, \dots, z_m$ . Članovi  $S_{ik}(\omega)$  predstavljaju kros spektre promenljivih  $X_i$  i  $X_k$ .  $\mathbf{S}$  je matrica spektralnih gustina koja obuhvata sve auto i kros spektre promenljivih.

Koristeći jednačine (3) do (6) dobija se da je:

$$\mathbf{S}(\omega) = \mathbf{H}^*(\omega) \cdot \Sigma^2 \cdot \mathbf{H}^+(\omega) \quad (7)$$

gde simbol \* označava konjugovano kompleksnu vrednost a simbol + transponovanu matricu.

Koristeći jednačine od (5) do (7), auto spektar promenljive  $X_i$  mogao bi da se napiše kao

$$S_{ii}(\omega) = \sum_{k=1}^m |H_{ik}(\omega)|^2 \cdot \langle z_k^2 \rangle \quad (8)$$

k-ti član sume gornje jednačine predstavlja prilog k-te nezavisne komponente šuma spektru i-te promenljive. Veličina

$$\phi_{ik}(\omega) = \frac{|H_{ik}(\omega)|^2 \cdot \langle z_k^2 \rangle}{S_{ii}(\omega)} \quad (9)$$

meri relativni prilog. Jasno je da je

$$\sum_{k=1}^m \phi_{ik}(\omega) = 1$$

Prema korišćenoj filozofiji, jednačine (7) i (9) predstavljaju dekompoziciju spektra  $i$ -te promenljive u priloge različitih izvora šuma.

Jednačina (9) bi mogla da posluži za identifikovanje šuma snage ( $i=1$ ) u BWR reaktorima.

Posmatrajmo slučaj koji uključuje sledećih šest signala u analizu i to: snagu ( $k=1$ ), protok kroz jezgro ( $k=2$ ), pritisak u sudu ( $k=3$ ), protok sveže vode ( $k=4$ ), nivo vode u sudu ( $k=5$ ) i recirkulacioni protok ( $k=6,7$ ). Elementi prenosne funkcije  $G$  i drugi momenti  $Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_7^2$  mogli bi da se procene u vremenskom domenu korišćenjem multivarijabilnog autoregresivnog modeliranja. Posle razvoja relevantnih elemenata matrice  $H$ , faktori  $\phi_{ik}$  ( $k=1,2,\dots,7$ ) bi mogli da se izračunaju. Na taj način bi se dobila mera relativnog uticaja sopstvenog neutronskog šuma na spektar ukupnog neutronskog šuma.  $\phi_{1k}$  meri relativni prilog sopstvenog šuma  $k$ -te promenljive auto spektru snage reaktora. Kako, u trenutnom tretmanu, izrazi "sopstveni šum" i "izvor šuma" su sinonimi, može se  $\phi_{1k}(\omega)$  definisati kao uticaj  $k$ -tog izvora šuma na šum ukupne snage reaktora.

$\phi_{11}(\omega)$  predstavlja uticaj sopstvenog neutronskog šuma na spektar ukupnog neutronskog šuma. Normalno je očekivati da  $\phi_{11}(\omega)$  bude uvek najveći među  $\phi_{1k}(\omega)$  vrednostima.

Paralelno sa teorijskim pristupom trebalo bi izvršiti obimna eksperimentalna istraživanja i verifikovati razvijeni teorijski model.

#### ZAKLJUČAK

Najnovija istraživanja u Japanu /1/ su pokazala nemogućnost standardnih korelacionih tehnika da daju dublji uvid u dinamiku BWR šuma. To se naročito odnosi na nisko frekventno područje gde su dominantni uticaji fluktuacija ukupnog protoka vode i pare, fluktuacija pritiska i dr. na ponašanje frekventnog spektra neutronske snage. U radu je izložen uprošćen teorijski model, na bazi parcijalne korelacione analize koji bi mogao uspešno da se koristi za osvetljavanje pojava u frekventnom području do 1 Hz.

LITERATURA

- /1/ Kuroda Y., Yamaguchi M., Prog.nucl.Energy 1,261,1977
- /2/ Kosaly G., Kostić Lj., Miteff L., Varadi G., Behringer K.,  
Prog.nucl.Energy 1,99,1977
- /3/ Kostić Lj., Atomwirtschaft 21,363,1976
- /4/ Nomura T., Ann.nucl.Energy 2,379,1975
- /5/ Behringer K., Feurmann D., Kostić Lj., Seifritz W.,  
Atomkernenergie 26,61-67,1975  
Ann.Nuclear Energy 2,419-426,1975