

Lj. Kostić

Institut "Boris Kidrič", Vinča

ODREĐIVANJE PROSTORNO ZAVISNE PRENOSNE FUNKCIJE REAKTORA NULTE  
SNAGE KORIŠĆENJEM PSEUDO SLUČAJNE POBUDE

Fluktuacije snage nultog reaktora izazvane slučajnom promenom reaktivnosti usled statističke prirode procesa apsorpcije i umicanja su malog intenziteta. Njihovo merenje iziskuje specijalno osetljivu preciznu instrumentaciju zbog uvek prisutnog background a. Da bi se prevazišli nekoherentni efekti background a koji pokazuju tendenciju da smanje tačnost merenja, potrebno je ponekad perturbovati reaktorski sistem slučajnim poremećajem koji nije mnogo bogat frekventnim komponentama.

U ovom radu, specijalno napravljen brzi oscilator reaktivnosti je pobudjivao reaktor jednom takvom pobudom koja je izazivala pseudo slučajne promene reaktivnosti. Kerni sistem se sastojao od stohastičkog oscilatora BCR-1, koga snabdeva pseudoslučajnim impulsima generator "belog" šuma GBS-16, instrumentalnog magnetofona AMPEX SP-300, sistema za akviziciju podataka i digitalnog računara ZUSE Z-23.

Da bi se došlo do prostorno zavisne prenosne funkcije, odziv reaktora je meren za nekoliko različitih položaja stohastičkog oscilatora i jonizacione komore. Kako bi reaktorski sistem i dalje ostao linearan, eksperimentat se ograničio na male fluktuacije reaktivnosti. Na kraju su ti eksperimentalni rezultati upoređeni sa teorijskim vrednostima.

Matematički osnovi eksperimentalne metode

Kada stacionarni signal  $x(t)$  perturbuje linearni sistem čija je prenosna karakteristika  $h(t)$ , a odziv sistema  $y(t)$ , kros korelaciona funkcija izmedju  $x(t)$  i  $y(t)$  se određuje kao

$$\Psi_{xy}(\tau) = \int_0^{\infty} h(t) \cdot \varphi_{xx}(\tau-t) dt \quad (1)$$

gde je

$$\varphi_{xx}(\tau) = \lim_{\kappa \rightarrow \infty} \frac{1}{\kappa} \int_0^{\kappa} x(t) \cdot x(t+\tau) dt \quad (2)$$

$$\varphi_{xy}(\tau) = \lim_{\kappa \rightarrow \infty} \frac{1}{\kappa} \int_0^{\kappa} x(t) \cdot y(t+\tau) dt \quad (3)$$

Funkcije  $\varphi_{xx}(\tau)$  i  $\varphi_{xy}(\tau)$  mogu da se mere ili računaju pa se integralna jednačina (1) može rešiti po veličini  $h(t)$ . Ovaj postupak može dosta da se uprosti ako se odabere signal pobude čija auto korelaciona funkcija može da se aproksimira  $\delta$  funkcijom.

$$\varphi_{xx}(\tau) = \kappa \cdot \delta(\tau) \quad (4)$$

U tom slučaju je

$$\varphi_{xy}(\tau) = \kappa \cdot h(\tau), \tau > 0 \quad (5)$$

$$\varphi_{xy}(\tau) = \frac{\kappa}{2} \cdot h(0), \tau = 0$$

a funkcija kros spektralne gustine je proporcionalna prenosnoj funkciji sistema

$$\Psi_{xy}(\omega) = \kappa \cdot H(i\omega) \quad (6)$$

Ova prosta veza je vrlo primamljiva za eksperimentatore ali je pravi slučajan signal teško dobiti. U praktičnom slučaju, korišćenje "slučajnog" signala može da dovede do znatnih grešaka. Razlog je taj što su relacije (4) i (6) zasnovane na pretpostavci da slučajni signal ima autokorelacionu funkciju koja je  $\delta$  funkcija a spektralnu gustinu konstantnu. To je fizički neostvarljivo pošto takv signal trebalo da bude korelisan u toku beskonačno dugog vremenskog perioda i da u sebi sadrži beskonačni iznos energije. Za slučajan signal konačne dužine, "peak" autokorelacione funkcije ima konačnu širinu, a autokorelaciona funkcija bočne stranice čija amplituda može da dostigne vrednost 5 do 10% od vrednosti peak-a. Usled toga je vrednost spektralne gustine promenljiva i opada na višim učestanostima.

Da bi se prevazišle ove teškoće, za pobudjivanje sistema se koristi pseudo slučajna binarna promenljiva čije statističke karakteristike u visokom stepenu aproksimiraju karakteristike slučajnog signala. U striktno matematičkom smislu verovatnoća raspodele nije Gaussova ali je njena bliska aproksimacija. Najvažnije je da je autokorelaciona funkcija ove pseudoslučajne binarne promenljive odredljiva i da dobro aproksimira  $\delta$  funkciju. Prave vrednosti za autokorelacionu funkciju ulaznog signala mogu da se zamene u jednačini (1) i da se tako odredi impulsni odziv sistema. Spektralna gustina ovakve pseudoslučajne binarne promenljive je konstantna od nule do relativno visoke frekvence pa za taj frekventni opseg važi relacija (6). Za više učestanosti može da se primeni relacija

$$\Psi_{xy}(\omega) = H(\omega) \Psi_{xx}(\omega) \quad (7)$$

pošto se spektralna gustina ulaznog signala može lako da odredi.

Autokorelaciona funkcija ove pseudoslučajne binarne promenljive, kao što je pokazano na slici 2, je niz trouglova sa širinom osnovice  $2\Delta t$ , jedinicom visine, u intervalima od  $N \cdot \Delta t$  i bočnim stranama između trouglova koje imaju konstantnu vrednost od  $-1/N$ . Period autokorelacione funkcije je jednak periodu pseudoslučajne promenljive. Interesantno je istaći da kad  $N$  raste, amplituda bočnih stranica opada, trouglovi postaju uži, periodi veći, a autokorelaciona funkcija, izuzev za svoju periodičnost, počinje mnogo tačnije da aproksimira  $\delta$  funkciju. Međutim i dalje površina autokorelacione funkcije unutar trouglova iznad nule je ekvivalentna površini iznad negativnih bočnih stranica.

Auto spektar pseudo slučajnog ulaza ima nekoliko interesantnih karakteristika. Ako se autokorelaciona funkcija posmatra kao aperiodična funkcija, što je slučaj kad je period dug u odnosu na "settling" vreme sistema, tada je njena spektralna gustina kontinualna i jednaka

$$\Psi_{xx}(\omega) = \frac{\Delta t}{2\pi} \left\{ \frac{\sin(\omega \cdot \Delta t / 2)}{(\omega \cdot \Delta t / 2)} \right\}^2 \quad (8)$$

Međutim, ako se autokorelaciona funkcija posmatra kao

periodična, njena spektralna gustina je diskretna i data je sa

$$\Psi_{xx}(\omega = n\omega_1) = \frac{1}{N} \left\{ \frac{\sin\left(\frac{n\omega_1 \Delta t}{2}\right)}{n\omega_1 \Delta t/2} \right\}^2, \omega_1 = \frac{2\pi}{N \Delta t}, n=1, 2, 3, (9)$$

gde je  $\omega_1$  učestanost povezana sa periodom pseudoslučajnog signala. Omotač komponenata diskretnog spektra ima isti oblik kao i prethodni izraz za kontinualni slučaj. Oba spektra su konstantna u oblasti nižih učestanosti sve dok je  $\sin(\omega \Delta t/2) \approx \omega \Delta t/2$ .

U praksi, sistem koji se proučava mora da ima "bandwidth" uži os spektralne gustine pseudoslučajnog ulaza, tj. vremenske konstante sistema trebalo bi da budu manje od perioda ulazne sekvence bar za faktor 5.

#### Postavka eksperimenta i eksperimentalni rezultati

Blok šema uređjaja za kros merenja je data na slici 1. Signali perturbacije i odziva reaktora se zapisuju na magnetnoj traci. Moguće osnovne učestanosti generatora pseudoslučajnog signala su sledeće: 0.1 Hz, 1 Hz, 10 Hz, 100 Hz, 1000 Hz. Analizirana kritična konfiguracija nultog reaktora "RB" je rešetka koraka 11.3 cm sa 44 gorivna elementa 2% obogaćena  $U^{235}$ . U toku eksperimenta stohastički oscilator se nalazio u centru reaktora, a jonizaciona komora KMT-52 osetljivosti reda  $10^{14}$  A/n/cm<sup>2</sup> na rastojanjima 8 cm, 16 cm, 32 cm, 56 cm i 80 cm od centra.

Signali perturbacije i odziva su kros korelisani u digitalnom računaru ZUSE Z - 23 korišćenjem programa AUTOCROSSPECT koji računa:

1. srednje vrednosti pobude i odziv
2. odstupanja od srednjih vrednosti
3. varijance
4. auto i kros korelacione funkcije
5. auto spektre
6. kros spektar
7. pojačanje i fazu prenosne funkcije
8. koherenciju

Cilj eksperimenta je bio istraživanje uticaja prostorno zavisnih efekata na prostorno zavisnu prenosnu funkciju merenu za različita rastojanja između stohastičkog oscilatora i jonizacione komore.

Rezultati krce korelacionih merenja na multom reaktoru "RB" pokazani su na slikama 3,4,5,6,7,8. Uočeno je prisustvo prostorno zavisnih efekata i pokazano je da za više učestanosti (iznad nekoliko rad/sec) tj. za brze prelaze, prostorno nezavisni model nije tačan. On vodi do znatnih grešakakoje rastu sa porastom učestanosti i opadanjem rastojanja između detektora i perturbatora. Zato je za vernu interpretaciju nužno korišćenje modela koji može da da, u proizvoljnoj tački sistema, odziv koji zavisi od položaja i vrste perturbacije.

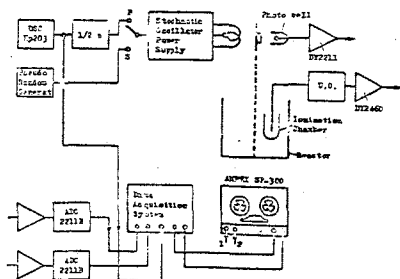
Na slici 6 se vidi kako amplituda normalizovane autokorelacione funkcije, između pseudoslučajne pobude reaktivnosti i reaktivna reaktora, opada sa porastom rastojanja perturbator-detektor, dok u isto vreme širina peak-a raste (slika 5).

Centralno mesto u eksperimentalnom proučavanju prostorno zavisnog stohastičkog neutronskog šuma predstavlja odredjivanje amplitude i faze prenosne funkcije reaktorskog sistema pobudjivog pseudo slučajnom promenom reaktivnosti. Rezultati eksperimenta su dati na slici 8. Faza prenosne funkcije je osetljivija na prostorne efekte od amplitude. Zato su eksperimentalno dobijene vrednosti za fazu prenosne funkcije reaktora "RB" (rešetka koraka 11.3) upoređjene sa teorijskim vrednostima za istom konfiguraciju. Teorijske vrednosti su dobijene korišćenjem multigrupnog programa PeZePeF (bazira se na modalnoj analizi) /3/, koji računa prostorno zavisnu prenosnu funkciju za slučaj golog homogenog reaktora. Sa slike 8 se vidi dobro slaganje teorijskih i eksperimentalnih vrednosti u oblasti nižih učestanosti dok za više učestanosti (iznad 50 rad/sec) neslaganje postaje uočljivije. To je posledica inertnosti mehaničkog uređjaja brzog oscilatora BOR - 1 koji nije ustanju da verno prati promene u oblasti viših učestanosti

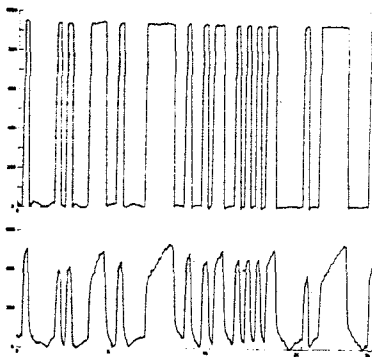
kao i opadanje vrednosti ulaznog spektra na višim učestanostima.

### Literatura

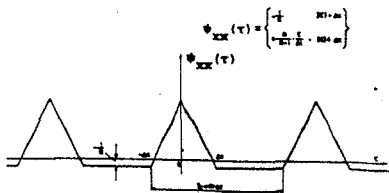
- /1/ Uhrig E.R., Noise Analysis in Nuclear Systems, TID 7976 (1964)
- /2/ Bendat, J.S., Pierson, A.G., Measurement and Analysis of Random Data, John Wiley and Sons, New York (1968)
- /3/ Obradović D., PhD Thesis, University of Strathclyde (1970)
- /4/ Kostić Ij., 6. Treffen des Arbeitskreises "Noise Analysis", Hannover, 1973



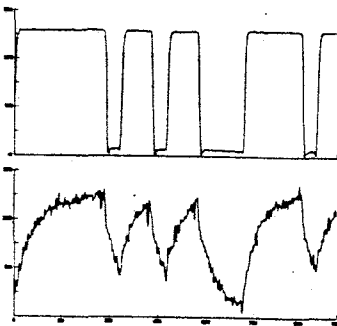
Sl. 1. BLOK ŠEMA EKSPERIMENTALNE OPREME KORIŠĆENE ZA MERENJE KROS SPEKTRALNE GUSTINE



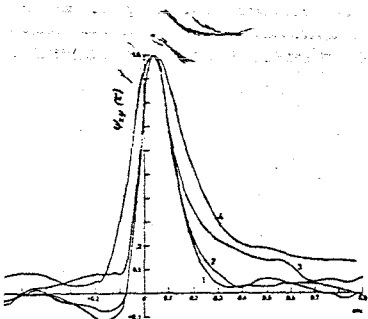
Sl. 3. SIGNALI PERTURBACIJE I ODZIVA REAKTORA ( $f_0 = 1H_z$ )



Sl. 2. AUTOKORELACIONA FUNKCIJA PSEUDO SLOČAJNOG SIGNALA



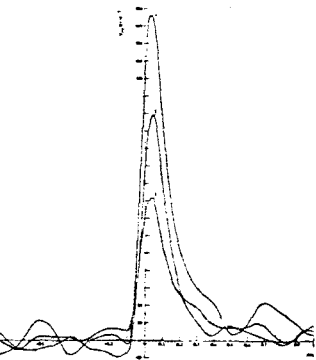
Sl. 4. SIGNALI PERTURBACIJE I ODZIVA REAKTORA ( $f_0 = 10H_z$ )



5. KROS KORELACIONE FUNKCIJE IZMEDJU:  
stohastičkog oscilatora (u centru)  
i jonizacione komore u položajima:

1. 6 cm
2. 32 cm
3. 56 cm
4. 80 cm

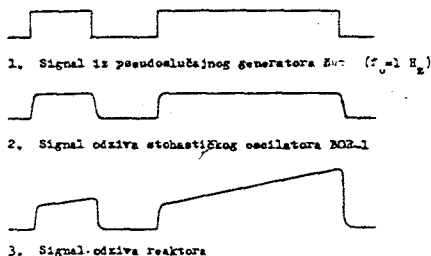
od reaktorskog centra



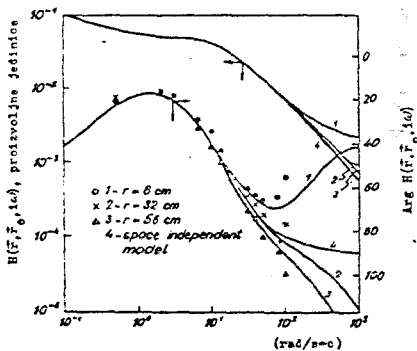
6. KROS KORELACIONE FUNKCIJE IZMEDJU:  
stohastičkog oscilatora (u centru)  
i jonizacione komore u položajima:

1. 16 cm
2. 32 cm
3. 56 cm

od reaktorskog centra



Sl. 7



Sl. 8. AMPLITUDA I FAZA FUNKCIJE FREKVENČNOG  
ODZIVA. POREĐENJE PeZePe<sup>2</sup> (puna linija)  
I EKSPERIMENTALNIH REZULTATA ("o", "x", "Δ")  
ZA REAKTOR "RB".