

RO INSTITUT ZA NUKLEARNE NAUKE "BORIS KIDRIČ" - VINČA

OUR Institut za nuklearnu energetiku i tehničku fiziku "NET"

.

L.4.

M. Milošević

UPUTSTVO ZA KORIŠĆENJE INVERZNE METODE
ZA MERENJE REAKTIVNOSTI

Vinča, novembar 1988. godine

PREDGOVOR

Rad na razvoju inverzne metode za merenje reaktivnosti je završen. Detaljan opis suštine ove metode, tehnike merenja i algoritma za obradu rezultata merenja je dat u izveštaju "Razvoj eksperimentalnih metoda - Godišnji stručni izveštaj", poglavlje L.4, Vinča, 1987. U ovom izveštaju je u sažetom obliku prikazan konačni oblik razvijene inverzne metode za merenje reaktivnosti. Dat je opis toka eksperimenta, potrebne instrumentacije i računarskog programa IM za određivanje reaktivnosti. Svrha ovog uputstva je da omogući izvodjenje eksperimenta i merenje reaktivnosti na bilo kom kritičnom reaktoru (bilo brzom ili termičkom) na osnovu metodologije koju smo mi osvojili na reaktoru RB u Vinči.

SVRHA METODE. Inverznom metodom se na osnovu izmerene promene snage reaktora u nekom vremenskom intervalu odredjuje vremenska zavisnost reaktivnosti koja je tu promenu snage izazvala. Ova metoda se može koristiti za merenje reaktivnosti reaktora oko stanja kritičnosti na zakasnele neutrone. Tačnost merenja reaktivnosti ovom metodom zavisi od tačnosti izmerene promene snage, zatim od tačnosti kojom model prostorno-nezavisne kinetike (primenjen u programu IM) opisuje prelazne procese u datom reaktoru kao i od tačnosti kinetičkih parametara sa izabrani model kinetike reaktora.

Iako je inverzna metoda merenja reaktivnosti u potpunosti razvijena na reaktoru RB u Vinči, sama tehnika merenja, zatim računarski programi IM i razvijeni domaći programi za proračun kinetičkih parametara u brzim (program VERA) ili termičkim reaktorima (programi VESNA i KIN) omogućavaju direktnu primenu kod brzih reaktora kao što je LASTA ili pak kod spregnutih brzo termičkih sistema kao što je sistem HERBE.

Dosadašnje naše uputstvu pokazuje da se razvijena inverzna metoda može koristiti za merenje kako malih vrednosti reaktivnosti, reda $10^{-4} \beta_{\text{eff}}$ tako i velikih negativnih vrednosti reaktivnosti, reda $-5 \beta_{\text{eff}}$. S obzirom na mogućnosti ova metoda je primenljiva za:

- precizna merenja malih vrednosti reaktivnosti (reda $10^{-4} \beta_{\text{eff}}$) u perturbacionim eksperimentima,
- merenje reaktivnosti pri različitim prelaznim procesima,
- kalibraciju reaktivnosti upravljačkih elemenata u funkciji njihovog položaja.

TOK EKSPERIMENTA. U reaktor koji je radio u stanju kritičnosti na zakasnele neutrone na izabranoj fisionoju snazi dovoljno dugo da se uspostavi ravnotežna koncentracija prethodnika zakasnelih neutrona i foto-neutrona (reda $10/\lambda_{\min}$) unosi se reaktivnost. To se može ostvariti pomeranjem upravljačkih elemenata, promenom temperature u jezgru reaktora, unošenjem uzoraka itd. Kod unošenja pozitivne reaktivnosti iz razloga nuklearne sigurnosti vodi se računa da perioda reaktora ne bude suviše kratka (ne ispod 20 s). U toku prelaznog procesa u trajanju od 5 min meri se fisiona snaga reaktora u vremenskim intervalima od po 10 - 100 ms, Pri tome nije potrebno meriti tačnu vrednost fisione snage reaktora, već je dovoljno da između izlaza na mernoj aparaturi i fisione snage postoji linearna zavisnost.

Za merenje fisione snage u toku prelaznih procesa se koristi kompenzovana jonizaciona komora sa dva aktivna dela, jedan deo osetljiv na neutrone i gama zračenje i drugi osetljiv samo na gama zračenje, tako da se na izlazu komore dobija struja direktno proporcionalna gustini neutronskog fluksa, odnosno fisionoju snazi reaktora. Signal iz ove komore se dalje preko linearnog strujnog pojačavača vodi na A/D konvertor. Mogućnosti nabavljenog A/D konvertora su takve da može birati diskretne vrednosti snage sa frekvencijom do 25 kHz. To znači da ovaj konvertor ima mogućnost merenja snage čak i u intervalima kraćim od potrebnog vremenskog koraka h za računarski program IM (obično je u ovom programu h oko 50 ms). Iz A/D konvertora se pomoću posebnog programa razvijenog u Vinči diskretne vrednosti snage sa A/D konvertora prenose na perifernu memoriju (disk) računara VAX-8250. Izmerena promena fisione snage reaktora u toku prelaznog procesa se koristi kao ulaz u domaći program IM, kojim se određuje vremenska zavisnost reaktivnosti koja je tu promenu snage izazvala.

MERNI SISTEM. Blok šema mernog sistema za merenje reaktivnosti inverznom metodom je prikazana na slici 1. Prikazani merni sistem se sastoji od:

- kompenzovane jonizacione komore (CC-80, proizvođač MERLIN-GERIN),
- linearni strujni kanal (SACLISB, proizvođač MERLIN GERIN),
- AID konvertora (ADF01, proizvođač DIGITAL),
- veze (interfeisa) A/D konvertora sa računarom (DRX11-C, proizvođač DIGITAL), i
- računara VAX-8250 (proizvođač, DIGITAL).

Navedena oprema je standardna i njene osobine garantuje proizvođač.

OBRADA REZULTATA. Izmereni rezultati se obradjuju pomoću domaćeg računarskog programa IM. Program IM je zasnovan na novoj ideji rešavanja jednačina kinetike, koja se sastoji u slabljenju osetljivosti jednačina zakasnelih neutrona (i fotoneutrona) na parametar β_{eff} . To se postiže uvodjenjem novih promenljivih u jednačine kinetike, koje se u programu IM odredjuju iterativno. Na ovaj način su izbegnuti problemi numeričke nestabilnosti pri rešavanju jednačina kinetike. Time je ujedno obezbedjena visoka tačnost odredjivanja reaktivnosti pomoću programa IM čak i pri merenju veoma malih reaktivnosti reda $+ 10^{-4} \beta_{eff}$.

S obzirom da je program IM baziran na modelu prostorno-nezavisne kinetike reaktora, pored merenja promene snage reaktora potrebno je prethodno odrediti kinetičke parametre reaktora, i to:

- vreme generacije promptnih neutrona (λ),
- efektivne frakcije zakasnelih neutrona i (po potrebi) fotoneutrona ($\beta_{eff,i}$), i
- konstante raspada prethodnika zakasnelih neutrona i (po potrebi) fotoneutrona (λ_i).

Za potrebe odredjivanja ovih kinetičkih parametara u OOUR-u "NET" u Vinči su razvijeni odgovarajući domaći računarski programi, i to:

- program VERA za proračun kinetičkih parametara u brzim reaktorima, i

- programi VESNA i KIN za proračun ovih parametara u termičkim reaktorima.

Kao test primer za proveru razvijene inverzne metode izabrana je jedna jednostavna konfiguracija reaktora RB. To je konfiguracija sa jednom aktivnom zonom koju čine 52 gorivnakanala sa gorivom od metalnog uranijuma obogaćenja 2% ²³⁵U. Korak rešetke je 16 cm. Za ovu konfiguraciju pomoću programa VESNA i GALER je za promenu reaktivnosti po jedinici visine teške vode u sudu reaktora RB dobijeno da je

$$\frac{d\rho}{dH} = 143 \cdot 10^{-5} \text{ (1/cm)},$$

dok je za vreme generacije promptnih neutrona dobijeno da je

$$\Lambda = 9.296 \cdot 10^{-4} \text{ s.}$$

Efektivne frakcije svih zakasnelih neutrona (dobijene kao i parametar pomoću programa VESNA i KIN) za izabranu konfiguraciju reaktora RB pri radu reaktora na snazi u toku 1200 s su dati u tabeli 1.

Tabela 1. Efektivne frakcije zakasnelih neutrona u teškovođnom reaktoru RB pri radu na konstantnoj snazi u toku 1200 s

i	$\beta_{eff,i}$	λ_i (1/s)
1	$2.2017 \cdot 10^{-4}$	$1.2410 \cdot 10^{-2}$
2	$1.4730 \cdot 10^{-3}$	$3.0533 \cdot 10^{-2}$
3	$1.3276 \cdot 10^{-3}$	$1.1165 \cdot 10^{-1}$
4	$2.6900 \cdot 10^{-3}$	$3.0264 \cdot 10^{-1}$
5	$8.0955 \cdot 10^{-4}$	1.1545
6	$2.9397 \cdot 10^{-4}$	3.0561
7	$6.5606 \cdot 10^{-4}$	$2.7700 \cdot 10^{-1}$
8	$2.0559 \cdot 10^{-4}$	$1.6900 \cdot 10^{-2}$
9	$7.0324 \cdot 10^{-5}$	$4.8100 \cdot 10^{-3}$
10	$2.8264 \cdot 10^{-5}$	$1.5000 \cdot 10^{-3}$
11	$8.3791 \cdot 10^{-6}$	$4.2800 \cdot 10^{-4}$
12	$3.0890 \cdot 10^{-6}$	$1.1700 \cdot 10^{-4}$
13	$1.6630 \cdot 10^{-7}$	$4.3700 \cdot 10^{-5}$
14	$4.5117 \cdot 10^{-9}$	$3.6300 \cdot 10^{-6}$
15	$3.7838 \cdot 10^{-10}$	$6.2600 \cdot 10^{-7}$
UKUPNO	$7.7862 \cdot 10^{-3}$	

U izabranom primeru je prikazano merenje reaktivnosti na reaktoru RB u toku prelaznog procesa izazvanog povećanjem visine teške vode iznad kritičnog nivoa od 145.59 cm. Pre početka perturbacije reaktivnosti reaktor RB je radio na konstantnoj snazi od 50 mW u toku 20 minuta. Perturbacija reaktivnosti je izvedena na sledeći način:

a) u toku prvih 40 s nivo teške vode je povećavan konstantnom brzinom od 8 mm min,

b) u trenutku $t = 40$ s povećanje nivoa teške vode je prekinuto i reaktor je narednih 60 s ostavljen u stanju nadkritičnosti na zakasnele neutrone, a po isteku 100 s od početka perturbacije reaktivnosti je ugašen (obaranjem sigurnosnih šipki). Ovakav režim promene snage reaktora RB

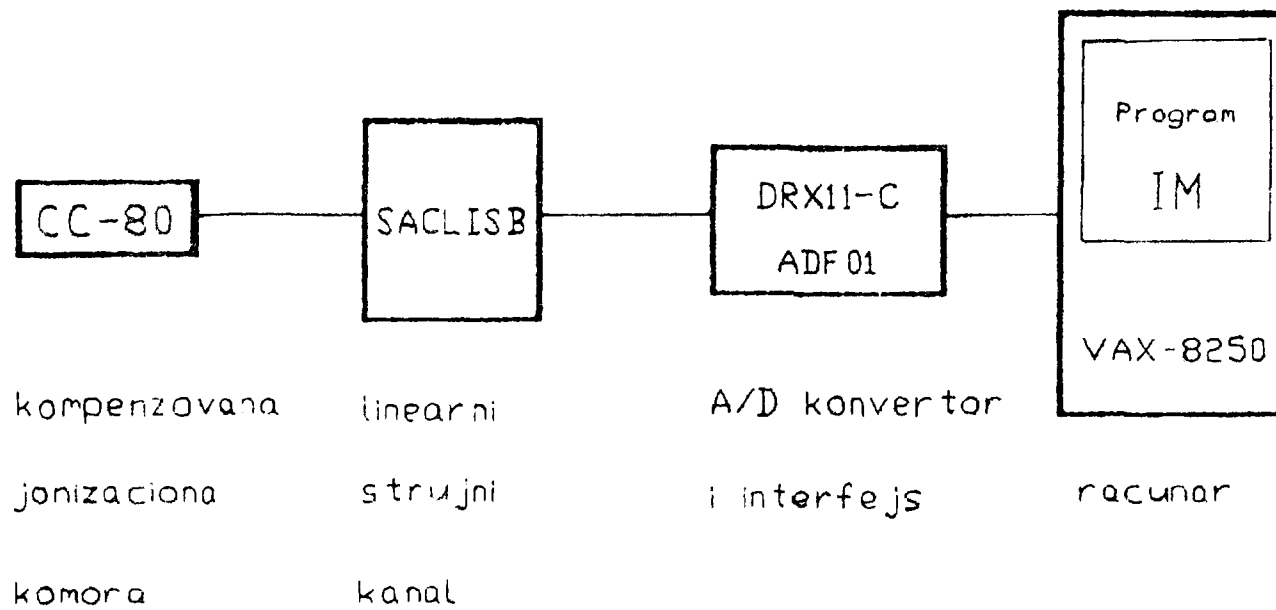
je unapred planiran na osnovu proračuna parametra $d\rho/dH$. Iz razloga nuklearne sigurnosti, povećanje nivoa teške vode ΔH iznad kritičnog nivoa je izabrano tako da perioda reaktora ne bude kraća od 100 s.

Izmerena promena snage je prikazana na slici 2. Na osnovu ove promene snage, pomoću programa IM je izračunata vremenska zavisnost $\rho(t)$ koja je tu promenu izazvala. Dobijeni rezultati za reaktivnost su takodje prikazani na slici 2. Prema ovim rezultatima izlazi da je

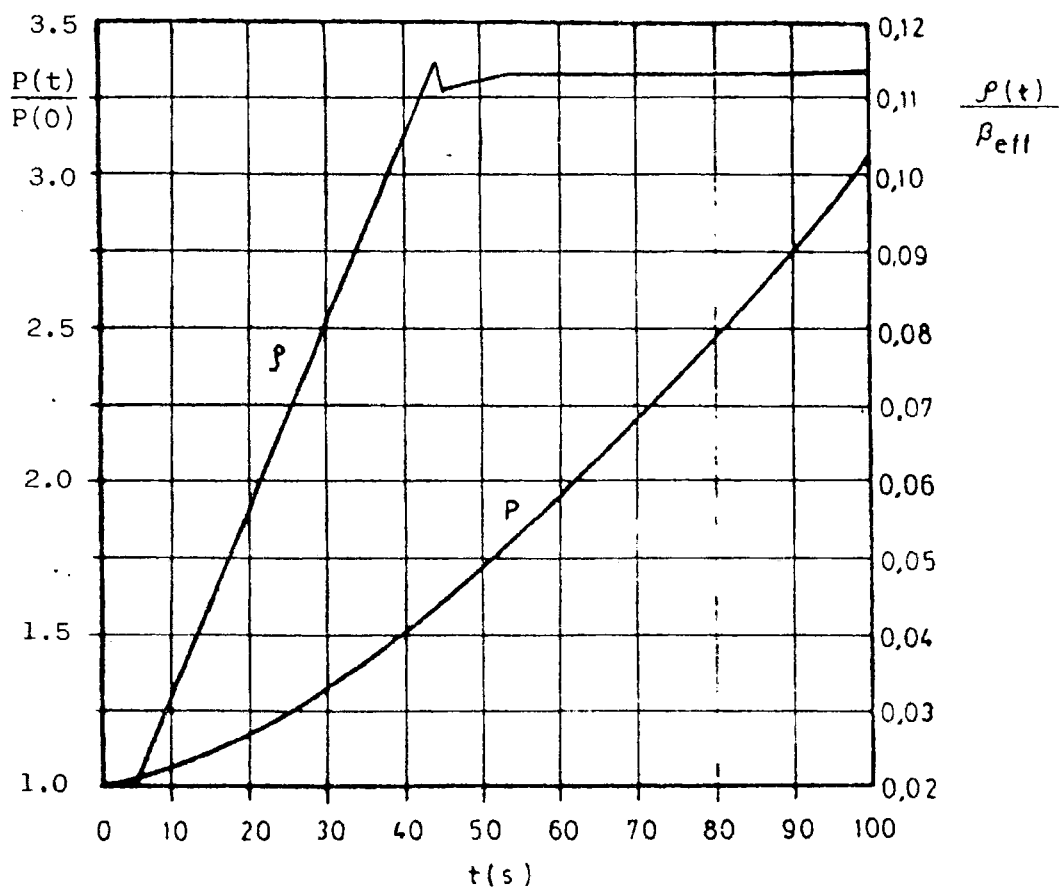
$$\frac{d\rho}{dH} = 152 \cdot 10^{-5} \text{ (1/cm)}$$

što se dobro slaže sa izračunatom vrednošću za $d\rho/dH$.

Sva dokumentacija o potrebnom mernom sistemu i domaćim računarskim programima IM, VERA, VESNA i KIN koji su potrebni za primenu opisane inverzne metode je na rasplaganju u OOUR "NET" u Vinči.



Sl.1. Blok šema opreme za merenje reaktivnosti inverznom metodom



Slika 2. Promena populacije neutrona $P(t)$ i reaktivnosti $\rho(t)$ na reaktoru RB u prelaznom procesu sa:

- neprekidnim podizanjem nivoa teške vode u toku prvih 40 s, i
- zaustavljenim nivoom teške vode na 5.35 mm iznad kritičnog nivoa.