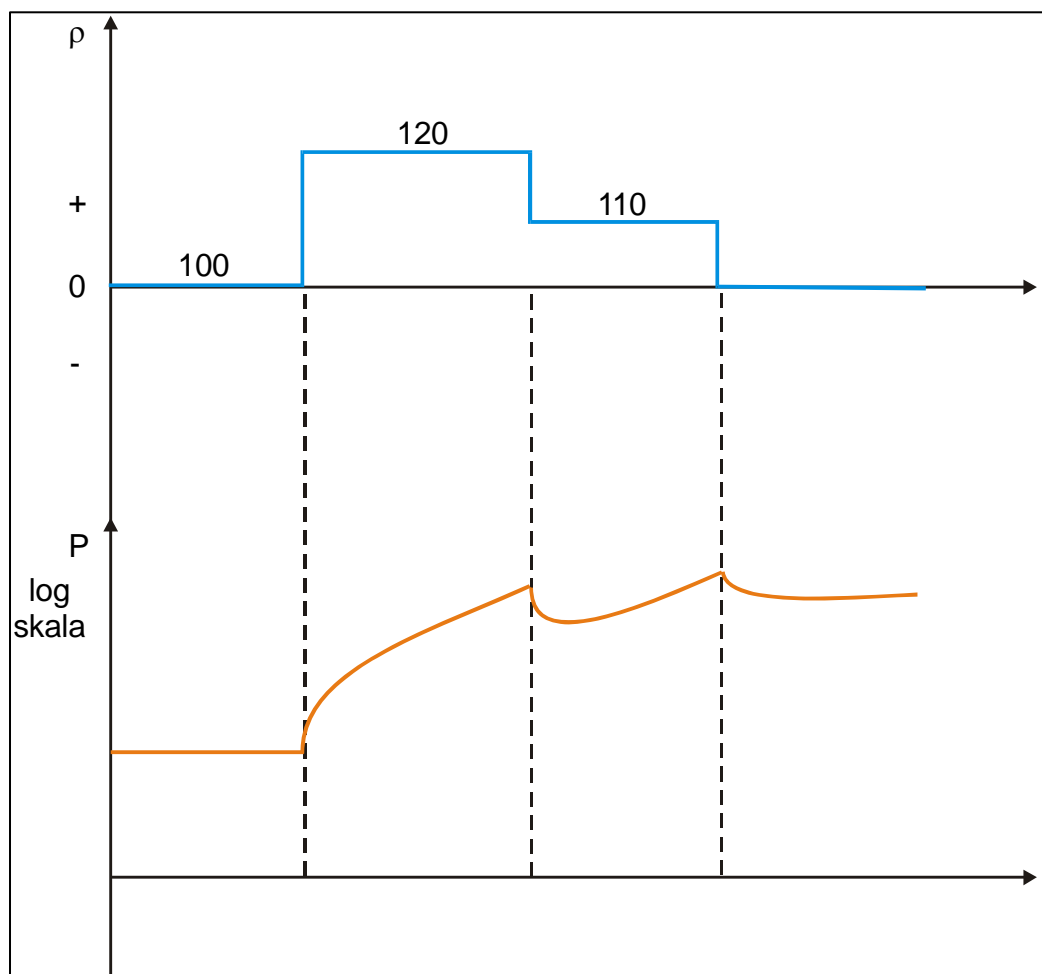


Luka Snoj
Andrej Trkov

ODZIV REAKTORJA NA SPREMEMBE REAKTIVNOSTI



Ljubljana, oktober 2012

revizija 0

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Jedrska tehnika
Tehnika jedrskega reaktorja

Prejšnje izdaje:

1. izdaja 1986, avtorji: *Milan Čopič, Viktor Dimic, Ludvik Lipič, Gvido Pregl, Jože Rant*
2. izdaja februar 2007, avtorji: Matjaž Ravnik, Luka Snoj

Revizija: 0

1. izdaja, oktober 2012

Avtorji: *Luka Snoj, Andrej Trkov*

Shranjeno v datoteki: *02_odziv_reaktorja_na_spremembe_reaktivnosti.doc*
zadnjič shranjen 26.10.2012 11:45:00

Tiskano: 26.10.2012 11:45:00

KAZALO

1	KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE	4
2	OSNOVE.....	4
2.1	SPREMEMBE MOČI PRI NIZKIH MOČEH REAKTORJA	4
2.1.1	<i>Spremembe moči reaktorja v območju obratovalnih moči.....</i>	5
3	IZVEDBA VAJE	6
3.1	OPREMA PRI VAJI.....	6
3.1.1	<i>Digitalni merilnik reaktivnosti z rekorderjem</i>	6
3.2	PODROČJE MAJHNIH MOČI	7
3.3	DOLOČITEV TOČKE JEDRSKEGA GRETJA (POINT OF ADDING HEAT)	7
3.4	OBRATOVALNA MOČ	7
4	NALOGA	8
5	LITERATURA	8
6	PRILOGE	9
6.1	UMERITVENE TABELE KONTROLNIH PALIC	9

1 KRATEK OPIS IN NAMEN VAJE

Namen vaje je opazovati odziv moči in periode reaktorja na nenadno namerno povzročeno spremembo reaktivnosti pri majhnih močeh in pri obratovalni moči ter praktično preveriti fizikalne modele za popis kinetike reaktorja z opazovanjem odziva spremembe moči reaktorja na spremembe reaktivnosti v področju nizke moči (brez temperaturnih efektov) ter v področju obratovalne moči.

2 OSNOVE

Glede na toplotno moč reaktorja TRIGA delimo obratovalna stanja na naslednja:

- območje moči nevtronskega izvora ($P < 10 \text{ mW}$),
- nizke moči ($10 \text{ mW} < P < 1 \text{ kW}$),
- obratovalne moči ($1 \text{ kW} < P < 250 \text{ kW}$).

Med seboj se ločijo po različnih temperaturnih efektih, ki prevladujejo v posameznih območjih moči. Ta tri območja so tipična za vse vrste termičnih reaktorjev, meje med njimi pa so odvisne od tipa reaktorja. Ker je odziv reaktorja na spremembo reaktivnosti odvisen od temperaturnih povratnih efektov, je odvisen tudi od tega, v katerem območju moči se sprememba izvrši. Znotraj istega območja moči se odziv kvalitativno ne spreminja.

Med vajo se bomo spoznali z odzivi na spremembo reaktivnosti pri majhnih močeh in v območju obratovalnih moči.

2.1 Spremembe moči pri nizkih močeh reaktorja

Na nizkih močeh lahko zanemarimo doprinose zaradi nevtronskega izvora, gostote toplotne moči pa še niso tako visoke, da bi se temperaturi goriva in hladilne vode v sredici zaradi tega povišali. Zato veljajo za obnašanje moči reaktorja naslednje značilnosti:

- Moč reaktorja je stacionarna, če je reaktivnost reaktorja enaka nič, torej, če je reaktor kritičen.
- Če je reaktivnost različna od nič, moč reaktorja narašča pri pozitivni reaktivnosti in pada pri negativni reaktivnosti.
- Pri konstantni reaktivnosti moč reaktorja asimptotsko narašča ali pada eksponencialno s časom:

$$P(t) = P_0 e^{t/T}, \quad (1)$$

kjer je T asimptotska perioda reaktorja, ki jo v približku enogrupne točkovne kinetične aproksimacije lahko izrazimo kot

$$T = (\beta - \rho) / (\rho\lambda). \quad (2)$$

β je povprečni delež zakasnelih nevtronov (0.00700), λ povprečna razpadna konstanta njihovih prednikov (0.08 s⁻¹). Enačba (2) velja za reaktivnosti, ki so manjše od 1 \$ (ali 0.007). Izpeljana je ob predpostavki, da so vsi zakasneli nevtroni združeni v eno samo grupo. Bolj natančno zvezo med reaktivnostjo in periodo popisuje šestgrupna "inhour" enačba:

$$\rho = \frac{\Lambda}{T} + \sum_{i=1}^6 \frac{\beta_i}{1 + \lambda_i T} \quad (3)$$

Λ - življenjski čas takojšnjih nevtronov (40 μ s)

β_i - delež zakasnelih nevtronov i-te grupe

λ_i - razpadna konstanta prednikov zakasnelih nevtronov i- te grupe

ρ - reaktivnost

T - reaktorska perioda

Kinetični parametri nevtronov v reaktorju TRIGA so podani v tabeli spodaj.

Tabela 2-1: Kinetični parametri nevtronov v reaktorju TRIGA.

Skupina	β_i	λ_i [s ⁻¹]
1	0,00023	0,0124
2	0,00153	0,0305
3	0,00137	0,1115
4	0,00276	0,3010
5	0,00080	1,2380
6	0,00029	3,0100
vsota	0,00700	-

Za majhne spremembe reaktivnosti $\rho \ll \beta$ velja torej:

$$T \propto 1/\rho \quad (4)$$

Hitro spremembo reaktivnosti spremlja takojšen skok moči reaktorja, ki je tudi sorazmeren spremembi reaktivnosti. Po prenehanju prehodnega pojava, ki traja do nekaj deset sekund, se moč reaktorja ujame na asimptotski potek, dan z enačbo (1), ki velja, vse dokler ostane reaktivnost reaktorja nespremenjena.

2.1.1 Spremembe moči reaktorja v območju obratovalnih moči

Spremembe temperature goriva in moderatorja ter hladila v reaktorju vplivajo na njegovo reaktivnost. Zato se s spreminjanjem moči spreminja tudi reaktivnost reaktorja. Zaradi stabilnosti pa mora biti reaktor konstruiran tako, da se s povečanjem moči reaktivnost reaktorja manjša.

Sedaj je reaktivnost reaktorja sestavljena iz dveh doprinosov:

- vstavljene reaktivnosti, ki jo spreminjamo z dviganjem ali spuščanjem kontrolnih palic, in
- lastne reaktivnosti zaradi temperaturnih povratnih vplivov na reaktivnost, ki jih povzročajo spremembe temperature goriva, hladila in moderatorja v odvisnosti od sprememb moči reaktorja.

Naj velja sledeči dogovor za lastno reaktivnost in za vstavljeno reaktivnost: lastna reaktivnost je nič na območju nizkih moči reaktorja, vstavljeno reaktivnost pa merimo od obeh referenčnih položajev, ki ju imata kompenzacijska in regulacijska palica v stacionarnem stanju pri nizki moči reaktorja. Potem velja naslednje:

- reaktivnost reaktorja je enaka nič, če je vsota vstavljene in lastne reaktivnosti enaka nič. Reaktor obratuje na stalni moči, če je njegova reaktivnost ves čas enaka nič,
- na območju obratovalnih moči je toplotna moč reaktorja enolično določena z vstavljeno reaktivnostjo.

Hitra sprememba reaktivnosti z ene konstantne vrednosti na drugo konstantno vrednost sproži prehodni pojav, ki po preteku nekaj minut pripelje moč reaktorja v novo stacionarno stanje. Pri srednjih močeh do kakih 30 kW je prehodni pojav dušen, tako da se moč reaktorja približuje novi stacionarni vrednosti asimptotsko. Pri večjih močeh in vstavljenih reaktivnostih pa se zaradi močnejših povratnih vplivov lahko pojavijo prenehanja moči, preden se ta ustali na novi stacionarni vrednosti.

Pri dovolj počasni spremembi vstavljene reaktivnosti sledi moč reaktorja z rahlo zakasnitvijo spreminjanju reaktivnosti. Razmerje med spremembo vstavljene reaktivnosti in spremembo moči reaktorja je koeficient reaktivnosti moči.

3 IZVEDBA VAJE

3.1 Oprema pri vaji

- digitalni merilnik reaktivnosti (DMR) z rekorderjem
- umeritvena krivulja za regulacijsko palico (Priloga)
- 3 štoparice

3.1.1 Digitalni merilnik reaktivnosti z rekorderjem

Reaktivnost je količina, ki meri odstopanje reaktorja od kritičnosti. Najlaže se jo meri posredno tako, da se izmeri časovna konstanta (perioda) naraščanja ali zmanjševanja moči, nato pa se reaktivnost izračuna iz kinetične enačbe, ki določa zvezo med periodo in reaktivnostjo. Reaktivnost lahko merimo ročno: s štoparico izmerimo periodo, reaktivnost pa izračunamo po "in hour" enačbi. To pa je izvedljivo le, če je reaktivnost majhna, pozitivna in konstantna. V vseh ostalih primerih za meritve uporabljamo merilnik reaktivnosti. To je program, ki iz časovne spremembe signala nevtronskega fluksa (ki se ojači s tokovnim ojačevalnikom in digitalizira) "online" računa reaktivnost z numeričnim reševanjem

kinetičnih enačb. Na zaslonu in na rekorderju se zapisujejo fluks (z enega od detektorjev z linearnim odzivom), reaktivnost (v enotah pcm = 10^{-5}) in temperatura goriva (opcija).

3.2 Področje majhnih moči

Operater naj požene reaktor in stabilizira moč na nekaj 10 W in sicer tako, da moč uravnava samo z regulacijsko palico. Ko je reaktivnost nič in je moč stabilna, zapiši na rekorderski papir moč ter položaj regulacijske palice. Ob vsaki spremembi si na papir zapisuj nove podatke.

Z dvigom regulacijske palice naj operater poveča reaktivnost za ~ 20 pcm (1 pcm = 10^{-5}). Za koliko korakov mora dvigniti regulacijsko palico, oceni iz umeritvene krivulje. Opazuj dvig reaktivnosti in naraščanje moči oziroma fluksa, vendar ne predolgo, da ne prideš v področje, kjer že delujejo temperaturni povratni efekti. Po prenehanju prehodnega pojava (~ 10 s) s štoparico izmeri čas, v katerem se moč podvoji, in izračunaj periodo, s katero moč narašča. Za kontrolo lahko čas odčitaš tudi kar iz rekorderskega papirja, če poznaš hitrost zapisa. Dobro je, če vas meri več hkrati (vsaj trije) ter nato rezultat povprečite. Po končani meritvi naj operater vrne regulacijsko palico na začetni položaj. Opazuj, kje se uravnovesita reaktivnost in moč. Operater naj nato vrne moč na začetno vrednost (nekaj 10 W). Ko je ponovno doseženo ravnovesno stanje, naj operater s ponovnim dvigom regulacijske palice (za koliko, oceni iz umeritvene krivulje) poveča reaktivnost za ~ 20 pcm. Slednje ponovi nekajkrat. Izmeri periodo. Preveri, ali velja približna recipročna zveza (enačba 3) med periodo in spremembo reaktivnosti. Ko končaš meritev, naj operater prestavi regulacijsko palico na izhodiščno lego. Spet opazuj reaktivnost in fluks.

3.3 Določitev točke jedrskega gretja (point of adding heat)

Operater ustali moč reaktorja na nekaj 10W. Regulacijsko palico izvleče za približno 80 pcm. Moč začne naraščati, najprej eksponencialno, nato pa se postopoma stabilizira na določeni vrednosti (tipično nekaj 10kW). Reaktivnost je najprej konstantna (dokler temperatura ne naraste), potem pa pada od začetne vrednosti (80pcm) proti nič zaradi temperaturnih povratnih efektov. Točka jedrskega gretja (point of adding heat) je pri tisti moči, ko se začne začetna vstavljena reaktivnost zmanjševati zaradi temperaturnih povratnih efektov (tipično 1kW).

3.4 Obratovalna moč

Operater naj z dvigom regulacijske palice poveča moč reaktorja na ~ 40 kW, prisilno hlajenje naj bo izključeno. Demonstrator naj preveri, če je merilno območje za reaktivnost na digitalnem merilniku reaktivnosti ustrezno.

Ko so razmere v sredici uravnovešene, zapiši moč in položaj regulacijske palice. Iz umeritvene krivulje oceni, za koliko korakov mora operater dvigniti regulacijsko palico, da se bo reaktivnost povečala za ~ 100 pcm. Na rekorderskem zapisu opazuj vpliv temperaturnih povratnih efektov na reaktivnost in na moč.

Ko reaktivnost pade na nič in ko se moč stabilizira na novem nivoju, vrni regulacijsko palico na prejšnji položaj. Spet opazuj reaktivnost in moč in preveri, če se je moč vrnila na začetno stanje.

4 NALOGA

- Opazuj odziv moči in periode reaktorja na nenadno povzročeno spremembo reaktivnosti pri različnih obratovalnih pogojih: pri majhnih močeh in pri obratovalni moči.
- Nariši diagram periode v odvisnosti od obratne vrednosti vstavljene reaktivnosti
- Določi točko jedrskega gretja
- Oцени negotovosti rezultatov
- rezultate komentiraj

5 LITERATURA

1. RAVNIK, Matjaž, SNOJ, Luka. Reaktorska in radiacijska fizika : vaje. Ljubljana: Fakulteta za matematiko in fiziko, 2007. 71 str
2. Duderstadt-Hamilton, Nuclear reactor analysis, John Wiley & Sons, NY, 1976
3. Lamarsh-Baratta, Introduction to nuclear engineering, Prentice Hall, NY, 2001

6 PRILOGE

6.1 Umeritvene tabele kontrolnih palic

Tabela 6-1: Umeritvena tabela regulacijske palice
SREDICA 191

Ljubljana, 12.12.2011

VREDNOSTI **REGULACIJSKE** PALICE NA POSAMEZNIH POZICIJAH

Korak	Vred./pcm
181	0.0
186	0.3
191	1.1
196	2.4
201	4.2
206	6.6
211	9.5
216	13.0
221	17.0
226	21.5
231	26.6
236	32.1
241	38.3
246	44.9
251	52.1
256	59.9
261	68.3
266	77.0
271	86.4
276	96.3
281	106.8
286	117.8
291	129.4
296	141.5
301	154.1
306	167.3
311	181.0
316	195.3
321	210.1
326	225.4
331	241.3
336	257.7
341	274.6
346	292.0
351	310.0
356	328.4
361	347.4
366	366.8
371	386.7
376	407.1
381	428.0
386	449.3
391	471.1
396	493.4
401	516.0
406	539.1
411	562.6
416	586.5

Korak	Vred./pcm
421	610.7
426	635.4
431	660.4
436	685.7
441	711.4
446	737.4
451	763.8
456	790.4
461	817.2
466	844.4
471	871.8
476	899.5
481	927.3
486	955.4
491	983.7
496	1012.1
501	1040.8
506	1069.6
511	1098.5
516	1127.6
521	1156.8
526	1186.0
531	1215.4
536	1244.9
541	1274.4
546	1304.0
551	1333.7
556	1363.3
561	1393.0
566	1422.8
571	1452.5
576	1482.2
580	1511.9
585	1541.6
590	1571.2
595	1600.8
600	1630.3
605	1659.7
610	1689.1
615	1718.4
620	1747.6
625	1776.7
630	1805.6
635	1834.5
640	1863.2
645	1891.7
650	1920.1
655	1948.3

Korak	Vred./pcm
660	1976.3
665	2004.1
670	2031.7
675	2059.1
680	2086.3
685	2113.2
690	2139.8
695	2166.1
700	2192.2
705	2217.9
710	2243.4
715	2268.4
720	2293.1
725	2317.5
730	2341.4
735	2364.9
740	2388.0
745	2410.7
750	2432.8
755	2454.5
760	2475.7
765	2496.4
770	2516.5
775	2536.1
780	2555.0
785	2573.4
790	2591.2
795	2608.3
800	2624.7
805	2640.5
810	2655.6
815	2670.0
820	2683.7
825	2696.6
830	2708.8
835	2720.1
840	2730.8
845	2740.6
850	2749.6
855	2757.7
860	2765.1
865	2771.6
870	2777.3
875	2782.1
880	2786.0
885	2789.0
890	2791.2
895	2792.6
900	2793.0

Izmeril: