

TADEUSZ ŚWIERZAWSKI, ANDRZEJ PUSZER<sup>x)</sup>

ELEKTRONICZNE URZĄDZENIE ANALOGOWE  
DO BADANIA KINETYKI REAKTORÓW JĄDROWYCH

Celem pracy [1] był projekt i budowa urządzenia analogowego, rozwiązującego układ równań różniczkowych opisujących zachowanie się reaktora jądrowego w czasie.

Czasową zmianę gęstości neutronów w rdzeniu reaktora jądrowego opisuje układ równań:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + p \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) + S(t)$$

$$\frac{dC_i(t)}{dt} = \frac{\beta_i}{p} n(t) - \lambda_i C_i(t)$$

gdzie oznaczają:

$n(t)$  - gęstość neutronów,

$\rho(t)$  - reaktywność,

$\Lambda$  - czas generacji neutronów,

$\beta_i$  - wydajność neutronów opóźnionych  $i$ -tej grupy,

$\beta$  - całkowitą wydajność neutronów opóźnionych,

$p$  - prawdopodobieństwo uniknięcia wychwytu rezonansowego,

<sup>x)</sup> Adiunkt dr inż. Tadeusz Świerzawski,  
Kierownik Zakładu Energetyki Jądrowej Katedry Teorii Maszyn Ciepłych,  
mgr inż. Andrzej Puszer, asyst. w Katedrze  
Miernictwa i Automatyki Urządzeń Energetycznych.

$\lambda_1$  - stałą rozpadu radioaktywnego jąder produkujących neutrony opóźnione i-tej grupy,

$S(t)$  - wyraz zewnętrznego źródła neutronów.

Układ równań kinetyki reaktora jest trudny do rozwiązania analitycznego, szczególnie w przypadku reaktywności zmiennej w czasie [2], a poza tym rozwiązanie tego układu w przypadku  $\rho = \rho_0$  pochłania bardzo dużo czasu.

Zastosowanie maszyny matematycznej do obliczeń pozwala uniknąć wyżej wymienionych trudności, a poza tym redukuje do minimum prawdopodobieństwo popełnienia błędu w obliczeniach.

Zbudowane urządzenie analogowe realizuje dwa programy obliczeniowe: rozwiązuje układ równań kinetyki reaktora z sześcioma grupami neutronów opóźnionych lub uproszczone równania z jedną grupą neutronów opóźnionych (dla dwóch czasów generacji neutronów  $10^{-3}$  i  $10^{-5}$  sec). Rozwiązania podawane są w zależności od potrzeb, a) w rzeczywistym czasie (przebiegi wolne), b) w pięciokrotnie zwiększonej skali czasu (przebiegu szybkie).

Działanie reaktora charakteryzuje się tym, że gęstość neutronów wewnątrz rdzenia zmienia się w bardzo szerokim zakresie (kilka do kilkunastu rzędów wielkości). Zbudowane urządzenie analogowe przystosowano do badań reaktorów o większych mocach, gdzie maksymalna wartość gęstości neutronów może dochodzić do  $10^{15}$  n/cm<sup>3</sup>.

W omawianej maszynie analogowej wielkością proporcjonalną do gęstości neutronów jest napięcie na wyjściu ze wzmacniacza operacyjnego. Napięcie to można zmieniać w granicach od 0 do 100 V. Jeżeli temu zakresowi zmian napięcia przyporządkujemy przedział zmian gęstości od 0 do  $10^{15}$  n/cm<sup>3</sup>, to wówczas 1V odpowiadałoby  $10^{13}$  n/cm<sup>3</sup>. Tego rodzaju rozwiązanie jest niekorzystne, gdyż nie jest możliwy dokładny pomiar gęstości neutronów mniejszych od  $10^{13}$  n/cm<sup>3</sup>.

Aby tego uniknąć zastosowano specjalną metodę modelowania - automatyczną zmianę skali maszyny [3]. Cały przedział zmiany gęstości neutronów podzielono na sześć zakresów wynoszących odpowiednio:  $10^5$ ,  $10^7$ ,  $10^9$ ,  $10^{11}$ ,  $10^{13}$ ,  $10^{15}$  n/cm<sup>3</sup>. Każdemu z tych zakresów odpowiada zmiana wyjściowego napięcia ze wzmacniacza operacyjnego od 0 do 100V. Tak więc, dla pierwszego zakresu, 1V odpowiada  $10^3$  n/cm<sup>3</sup>, dla drugiego -  $10^5$  n/cm<sup>3</sup> itd. Zmiana skali urządzenia analogowego odbywa się samoczynnie. W chwili kiedy napięcie na wyjściu ze wzmacniacza operacyjnego osiąga wartość maksymalną 100V, urządzenie przerywa automatycznie obliczenia w danym zakresie gęstości neutronów,

wyznacza warunki początkowe dla następnego zakresu i zaczyna rozwiązywać równania kinetyki reaktora jądrowego w zmienionej skali. Czas potrzebny na dokonanie operacji zmiany skali jest mniejszy od 1 sec.

W skład urządzenia analogowego kinetyki wchodzi: wzmacniacze operacyjne, obwody modelujące, układ sterowania wraz z automatyczną zmianą skali, układ rejestrujący i układ zasilający.

Przy użyciu zbudowanego urządzenia analogowego wykonano szereg doświadczeń dotyczących podkrytycznych i nadkrytycznych stanów reaktora oraz zbadano zachowanie się reaktora pod czas rozruchu i wygaszania reakcji łańcuchowej.

#### LITERATURA

- [1] Puszer A.: "Projekt i budowa symulatora kinetyki reaktora jądrowego", Praca dyplomowa wykonana na Wydz. Mech. Energetycznym Politechniki Śląskiej, marzec 1964.
- [2] Schultz M.A.: "Control of Nuclear Reactors and Power Plants", Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York 1961.
- [3] Filipczak W.: "Maszyna matematyczna dla celów automatyki reaktorowej", IBJ Świerk 1961.