

Józef OBER

Mieczysław REMBOWIECKI

PROBLEMY STOSOWANIA PRZETWORNIKÓW POMIAROWYCH
W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wymagania stawiane przetwornikom pomiarowym przy zastosowaniu ich w elektrowniach jądrowych oraz podano warunki konieczne dla realizacji w Polsce przetworników o odpowiednich własnościach.

1. Wstęp

W latach osiemdziesiątych w Polsce budowane będą bloki o mocy 500 MW w energetyce cieplnej oraz 440 MW w energetyce jądrowej. Wzrost mocy jednostkowej bloku od budowanych obecnie 200 MW do 500 MW spowoduje wg szacunkowych danych około pięciokrotny wzrost ilości aparatury automatyki dla energetyki cieplnej, dla energetyki jądrowej wzrost ten będzie jeszcze większy.

Wzrost ilościowy wiąże się również z koniecznością poprawy jakości urządzeń automatyki, przede wszystkim ich dokładności oraz niezawodności. Opracowanie i uruchomienie seryjnej produkcji szeregu nowych urządzeń automatyki względnie adaptacja obecnie produkowanych dla potrzeb nowoczesnej energetyki wiąże się z poważnymi kosztami, jednakże opłaca się [1] opracowanie nowego urządzenia nawet wtedy, jeżeli zostanie ono zastosowane tylko dla jednego bloku elektrowni jądrowej.

Przedmiotem szczególnego zainteresowania powinno być wyposażenie pierwszej polskiej elektrowni jądrowej z reaktorem wodno-ciśnieniowym typu WWER - 440 MW, która zostanie zbudowana w Żarnowcu przy współpracy ZSRR.

2. Warunki środowiskowe dla aparatury automatyki
w elektrowni jądrowej WWER - 440 MW

Analiza warunków środowiskowych dla aparatury automatyki, pracującej w elektrowni jądrowej, została przeprowadzona przez Instytut Automatyki Systemów Energetycznych we Wrocławiu przy współpracy z Energopomiarem w Gliwicach [3]. Elektrownia jądrowa z blokiem WWER - 440 MW została podzielona na 4 strefy, różniące się znacznie warunkami środowiskowymi:

Tabela 1

	Reaktor		Budynek pomoc.		Maszynownia		Nastawnie
	praca nor. bloku	praca awar. bloku	praca nor. bloku	praca awar. bloku	praca nor. bloku	praca awar. bloku	
Temperatura powietrza [°C]	45÷80	124	50	50	20÷30 (max 50)	20÷30 (max 50)	~20
Wilgotność względna powietrza [%]	100	100	90	90	80	80	~50
Ciśnienie powietrza [Pa]	$0,6 \times 10^5$ $0,8 \times 10^5$	$2,55 \times 10^5$	atmosferyczne	atmosferyczne	atmosferyczne	atmosferyczne	małe nadciśnienie
Drgania mechaniczne - amplituda [μm] - częstotliwość [Hz]	40 0÷400	40 0÷400			5÷60 25 lub 50	5÷60 25 lub 50	
Promieniotwórczość jądrowa - moc dawki ekspozycyjnej promieniotwórczości [A/kg]	$7,16 \times 10^{-9}$ $1,79 \times 10^5$	0,1	brak	$1,03 \times 10^{-3}$	brak	$14,32 \times 10^{-8}$	brak

- 1) budynek reaktora,
- 2) budynek pomocniczy,
- 3) maszynownia,
- 4) nastawnia i pomieszczenia przyległe.

Dla wymienionych pomieszczeń zostały określone następujące parametry: temperatura powietrza, wilgotność względna, ciśnienie powietrza, amplituda i częstotliwość drgań mechanicznych oraz moc dawki ekspozycyjnej promieniowania jądrowego w warunkach normalnych oraz w warunkach pracy awaryjnej bloku (tabela 1).

Dane te zostały opracowane przez porównanie z pracującymi za granicą blokami o podobnej mocy lub z obliczeń. Istotną różnicę między warunkami pracy aparatury automatyki w elektrowniach cieplnych i jądrowych stanowi istnienie promieniowania jądrowego oraz wpływ kwasu borowego, zawartego w wodzie obiegu pierwotnego.

Stwierdzono ujemne skutki działania promieniowania jądrowego na własności elementów, przede wszystkim półprzewodników i materiałów izolacyjnych, użytych w aparaturze automatyki. Przyjmuje się, że element półprzewodnikowy zmienia własności przy napromieniowaniu całkowitym rzędu tysięcy rentgenów, jednakże dokładne dane na ten temat będzie można uzyskać dopiero po badaniach całych urządzeń w komorze z dozowanym promieniowaniem.

Przewiduje się grupowanie aparatury w specjalnych pomieszczeniach, gdzie warunki środowiskowe będą w przybliżeniu jednakowe. Najtrudniejsze warunki pracy będą w budynku reaktora. W szczególnie trudnych warunkach pracować będą czujniki przetworników pomiarowych, stykające się bezpośrednio z wodą obiegu pierwotnego z uwagi na zwiększoną korozję z powodu istnienia w tym obiegu kwasu borowego. Muszą one być wykonane z materiałów odpornych na korozję. Przy projektowaniu aparatury automatyki należy wziąć pod uwagę fakt, że musi ona pracować poprawnie przy pracy awaryjnej bloku w znacznie gorszych warunkach niż przy pracy normalnej.

3. Możliwości zastosowania przetworników pomiarowych w elektrowni jądrowej

Zastosowanie techniki cyfrowej w energetyce jądrowej wiąże się z ogólną koncepcją sterowania blokiem oraz z problemem niezawodności aparatury. Bloki z reaktorem wodno-ciśnieniowym, pracujące w zagranicznych elektrowniach jądrowych [2], powszechnie stosują, z uwagi na ilość punktów pomiarowych rzędu tysięcy, technikę cyfrową do centralnej rejestracji i przetwarzania danych.

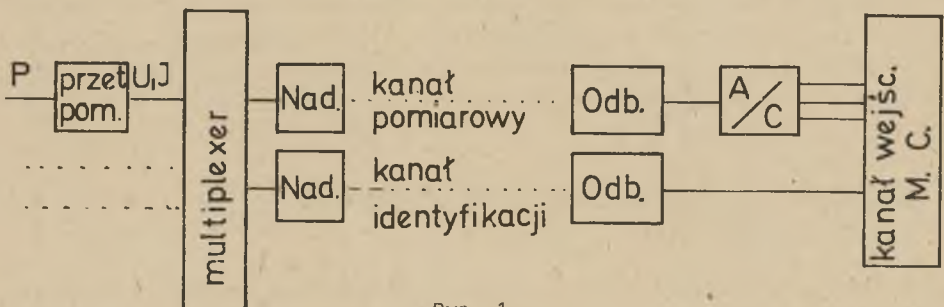
Centralne sterowanie wszystkimi układami elektrowni jądrowej przy pomocy techniki cyfrowej zostało zrealizowane w ostatnich latach z zastosowaniem dwóch komputerów - oddzielnie dla reaktora oraz dla części cieplnej elektrowni. Sterowanie poszczególnymi obwodami realizowane jest przy po-

mocy miniprocessorów zastępujących klasyczne pętle regulacji i sterujących bezpośrednio organami wykonawczymi. Miniprocessor oblicza równocześnie wartości zadane dla regulatorów analogowych stanowiących rezerwę i działających tylko w przypadku awarii miniprocessora. Wartości zadane regulatorów nastawia wtedy operator. Problem stosowania techniki cyfrowej w układach zabezpieczeń elektrowni jądrowej nie został dotychczas rozwiązany. Obecnie stosuje się klasyczne zabezpieczenia indywidualne poszczególnych układów. Należy sądzić, że wzorem sterowania cyfrowego układami elektrowni jądrowej również zabezpieczenia układów zostaną w przyszłości skomputeryzowane.

Warunkiem przejścia tej roli przez MC jest dalsza poprawa ich niezawodności. Wprowadzenie do użytku aparatury dla elektrowni jądrowych nastąpi w Polsce co najmniej za kilka lat. Istnienie konkurencji w zakresie opracowań aparatury ze strony innych państw socjalistycznych, również budujących elektrownie z reaktorami WWER-440 MW, powinno zdominować do opracowań własnych w zakresie aparatury. Najlepsze rozwiązania mogą zostać zastosowane w ramach RWPG.

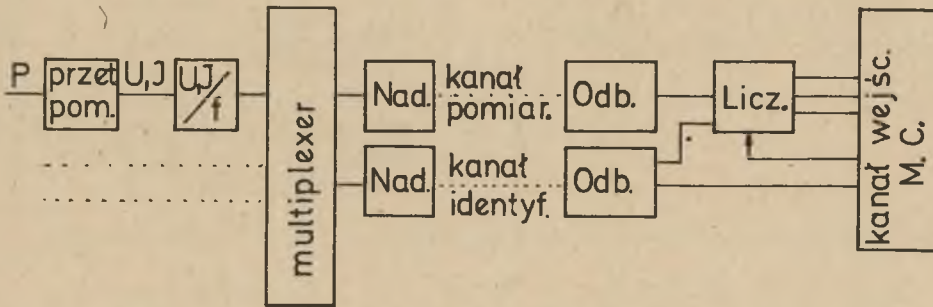
Istnieje szereg możliwości współpracy przetworników pomiarowych ciśnienia z maszyną cyfrową przy założeniu wolnych zmian sygnałów mierzonych (rzędu co najmniej sekund):

- szereg przetworników analogowych może zostać połączonych z komutatorem, sygnał zostaje przesyłany w postaci analogowej, przetwornik analogowo-cyfrowy znajduje się w końcu linii przesyłowej (rys. 1),



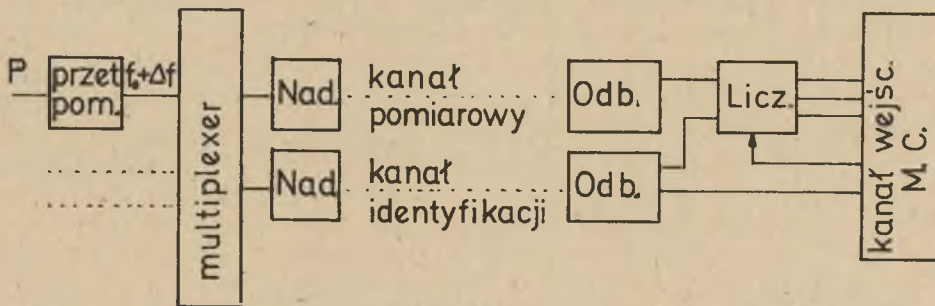
Rys. 1

- sygnał z każdego przetwornika analogowego zamieniany jest na częstotliwość i w tej postaci przesyłany, postać cyfrowa uzyskiwana jest przez zliczenie ilości impulsów przy pomocy licznika, dającego sygnał w postaci cyfrowej (rys. 2),



Rys. 2

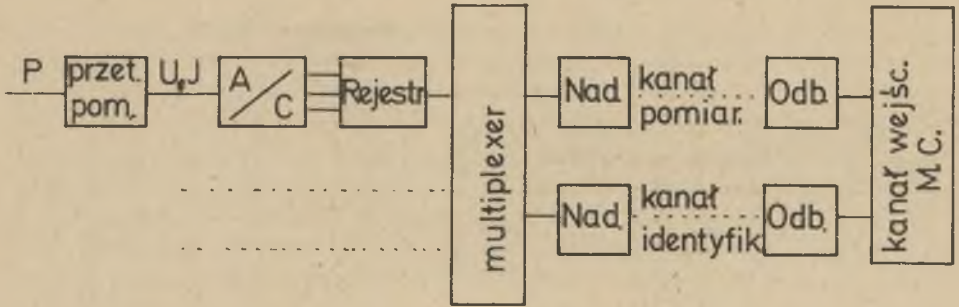
- wielkością wyjściową przetwornika jest częstotliwość $f_0 + \Delta f$, po przesłaniu linią przesyłową jest ona zliczana przez licznik w układzie dwójkowym, wielkością proporcjonalną do ciśnienia jest przyrost częstotliwości Δf (rys. 3).



Rys. 3

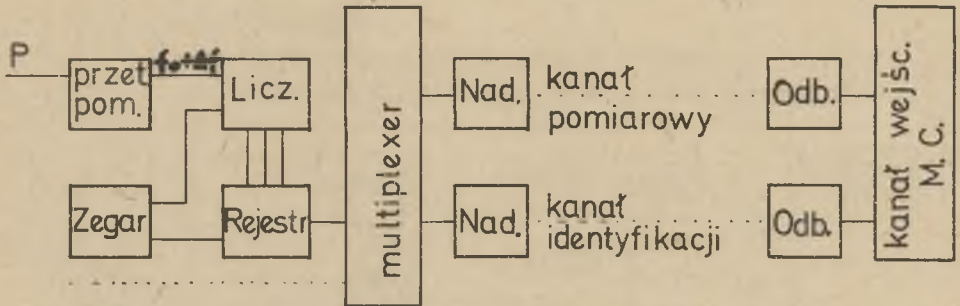
Przesyłanie sygnałów w postaci cyfrowej może odbywać się szeregowo lub równolegle. Przesyłanie szeregowe wymaga tylko linii 2-przewodowej i przy wolnych przebiegach sygnałów mierzonych jest korzystniejsze. Realizacja może odbywać się następująco:

- sygnał analogowy z przetwornika przetwarzany jest na postać cyfrową przez przetwornik analogowo-cyfrowy, a następnie w rejestrze zamieniany z postaci równoległej na szeregową i w tej postaci przesyłany (rys. 4).



Rys. 4

- przetwornik z wyjściem częstotliwościowym (np. generatorowy, gdzie sygnał wyjściowy ma postać $f_0 + \Delta f$, do ciśnienia mierzonego proporcjonalny jest przyrost częstotliwości Δf) może posiadać licznik oraz rejestr taktowane sygnałem proporcjonalnym do częstotliwości drgań własnych generatora f_0 (rys. 5).



Rys. 5

Najdogodniejszy do przesyłu jest sygnał częstotliwościowy, który jest trudno zakłócalny i możliwy do przesłania przy dużej amplitudzie. Przetworniki generatorowe są niedogodne z powodu trudności z utrzymaniem częstotliwości drgań własnych f_0 z dużą dokładnością. Błąd spowodowany zmianą f_0 można wyeliminować, stosując układ z modulacją szerokości impulsu. Postać cyfrowa sygnału już na wyjściu przetwornika ułatwia zastosowanie układu wewnętrznego testowania przetwornika.

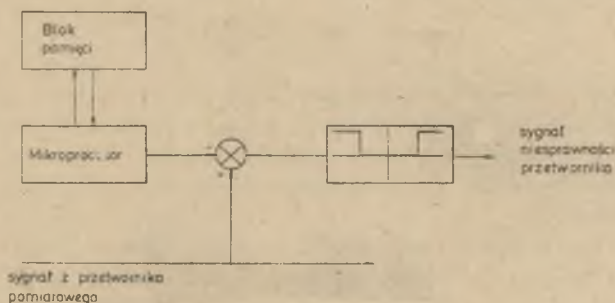
Stosując koncentrator danych linią dwuprzewodową można przesłać sygnały kolejno z szeregu przetworników. Gęstość przesyłania informacji zależy od szybkości ich zmian, rodzaju koncentratora danych i osprzętu przesyłowego. Przesył informacji przy większych gęstościach prowadzi do obniżenia kosztów przesyłu.

Uwzględniając tendencje rozwojowe techniki cyfrowej oraz wzrost mocy jednostkowych poszczególnych bloków (w przyszłości możliwość budowy elektrowni jądrowych WWR-1000 MW) oraz budowę pierwszej elektrowni jądrowej, w Polsce dopiero w latach osiemdziesiątych istnieje potrzeba opracowania nowych przetworników lub dostosowania obecnie produkowanych w kraju (wchodzących do produkcji) dla potrzeb energetyki jądrowej.

4. Własności przetworników pomiarowych, wymagane w elektrowniach jądrowych

Podstawowym wymaganiem dla przetworników pomiarowych, stosowanych w energetyce jądrowej, jest niezawodność, szczególnie ważna dla pomiarów w budynku reaktora oraz w obiegu pierwotnym wody chłodzącej. Układy pomiarowe w tych strefach elektrowni jądrowej powinny pracować bez konserwacji i napraw przez miesiąc, a nawet lata, przy czym sygnał pochodzący od przetworników powinien być sprawdzany. Wynika stąd konieczność testowania przetworników. Dla punktów pomiarowych szczególnie ważnych stosuje się potrójne pomiarów tego samego parametru oraz układ automatycznego wyboru poprawnego sygnału. Wielkość jego jest średnią arytmetyczną z wszystkich trzech pomiarów, a w razie przekroczenia przez jeden z sygnałów dopuszczalnych wartości średnią z dwóch pozostałych.

Sygnał, który nie mieści się w zakresie prawdopodobnych wartości, zostaje odrzucony przez układ ograniczający. Testowanie pojedynczego przetwornika może odbywać się w różny sposób, np. przez wykrywanie sygnałów, przekraczających wartości graniczne parametru mierzonego, przez sprawdzenie szybkości narastania sygnału lub tego monotoniczności. Znajomość modelu matematycznego procesu pozwoli wykreślić przebieg zmian parametru mierzonego w czasie całego cyklu pracy reaktora z odpowiednią dokładnością. Układ testujący powinien składać się z pamięci, z zapisanym przebiegiem zmian parametru mierzonego w postaci szeregu bitów oraz mikroprocesora odtwarzającego z pamięci poszczególne wartości w założonych interwałach czasowych. Sygnał odtworzony zostaje porównany z sygnałem rzeczywistym (rys.6). Prze-



Rys. 6

kroczenie dopuszczeń różnicy tych sygnałów prowadzi do pojawienia się sygnału niesprawności przetwornika.

Testowane wewnętrznie przetworniki mogą pracować w tych strefach elektrowni jądrowej, gdzie nie jest konieczne stosowanie potrójnej ilości przetworników z wyborem sygnału "dwa z trzech".

Z uwagi na zapowiedzianą w najbliższych latach produkcję w Polsce mikroprocesorów przetworniki opracowywane dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej mogą już być wyposażone w nie. Dokładne testowanie nie zastąpi jednak niezawodnie pracującego przetwornika.

Wymagania dla takiego przetwornika można określić następująco:

- praca najlepiej w układzie otwartym,
- minimalna ilość części ruchomych,
- duża pewność działania elementów składowych przetwornika,
- sygnał wyjściowy trudny do zakłócenia,
- okresowa kontrola przez wewnętrzne testowanie,
- dostosowanie do specyficznych warunków pracy w elektrowni jądrowej, jak: tropikalne warunki, zwiększona korozja elementów oraz działanie promieniowania radioaktywnego,
- dokładność klasy 0,2 (duże wymagania dokładności całej pętli regulacyjnej),
- stała czasowa rzędu sekund, określona szybkością zmian parametru mierzonego.

5. Wnioski

Przetworniki ciśnienia produkowane obecnie w Polsce nie spełniają szeregu warunków umożliwiających zastosowanie ich w elektrowniach jądrowych.

Celem zastosowania polskich przetworników pomiarowych należy:

- przeprowadzić dokładne badania celem wytypowania grupy aktualnie produkowanych przetworników pod kątem adaptacji ich do pracy w elektrowniach jądrowych i wykonać prace adaptacyjne,
- w przypadku stwierdzenia niemożności adaptacji należy opracować nowy typ przetwornika, przeznaczony przede wszystkim do pracy w elektrowni jądrowej.

Tego typu prace nad doбором przetworników dla energetyki jądrowej powinny być wielotorowe. Zastosowanie kilku typów przetworników do pomiaru tego samego parametru zabezpieczy przed możliwością równoczesnych zmian własności szeregu przetworników, zbudowanych na tej samej zasadzie wskutek napromieniowania.

Duże koszty poniesione przy pracach nad przetwornikami dla elektrowni jądrowych są uzasadnione możliwością zastosowania nowych rozwiązań:

- w odpowiedniej strefie elektrowni jądrowej,
- w elektrowniach konwencjonalnych,
- w innych gałęziach przemysłu.

LITERATURA

- [1] Pollak J.: Stan prac nad zagadnieniem automatyzacji elektrowni jądrowych w Polsce. Biuletyn MERA, nr 10-11, 1975.
- [2] Jakubowski Z., Tomczak T.: Doświadczenia zagraniczne i tendencje rozwojowe systemów automatyki elektrowni jądrowych z reaktorami wodno-ciężnionowymi. Biuletyn MERA, nr 10-11, 1975.
- [3] Konrr S., Nieckarz J.: Analiza warunków środowiskowych dla aparatury do pomiarów cieplnych i regulacji oraz przygotowanie aparatury regulacyjnej dla potrzeb elektrowni jądrowych. Biuletyn MERA, nr 10-11, 1975.
- [4] Wykaz punktów pomiarowych dla bloku 440 MW elektrowni jądrowej. Część I - Obieg pierwotny, cz. II - Obieg wtórny - Opracowanie Instytutu Automatyki Systemów Energetycznych we Wrocławiu. 1973.

Przyjęto do druku w czerwcu 1977 r.

ПРОБЛЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
В АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Р е з ю м е

В статье представлены требования для измерительных преобразователей в атомных электростанциях и определены условия реализации в Польше кондиционных преобразователей.

SOME PROBLEMS OF THE USE OF MEASURING
TRANSDUCERS IN NUCLEAR POWER STATIONS

S u m m a r y

Some demands for measuring transducers purposed to application in the nuclear power stations are presented in the papers. The necessary conditions for realisation in Poland of the appropriate transducers are also given.