

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



URZĄD
PATENTOWY
RP

OPIS PATENTOWY 154 711

Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 86 09 05 (P. 261299)

Pierwszeństwo _____

Zgłoszenie ogłoszono: 88 06 09

Opis patentowy opublikowano: 1992 01 31

Int. Cl.⁵ G01N 29/18
G01H 5/00

CZYTELNIA
OGÓLNA

Twórcy wynalazku: Piotr Gutkiewicz, Zdzisław Pawłowski

Uprawniony z patentu: Polska Akademia Nauk Instytut Podstawowych
Problemów Techniki, Warszawa (Polska)

URZĄDZENIE DO AUTOMATYCZNEGO POMIARU SZYBKICH ZMIAN CZASU
PRZEJŚCIA FAL ULTRADŹWIĘKOWYCH

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do automatycznego pomiaru szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych oraz pomiaru opóźnienia między impulsami fal ultradźwiękowych, rozchodzących się w ośrodkach stałych lub ciekłych.

Dokładny pomiar szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych pozwala na ciągłe obserwacje procesów zachodzących w materiale, będących wynikiem oddziaływania czynników zewnętrznych (obciążenia, temperatura). Czynniki zewnętrzne mogą być szybkozmienne pola naprężeń i odkształceń mechanicznych, pola termiczne, elektryczne i magnetyczne. Szybkie zmiany w czasie przejścia impulsów fal ultradźwiękowych mogą być spowodowane zjawiskami fizycznymi zachodzącymi przy zmianach stanu skupienia oraz reakcjach chemicznych względnie cieplnochemicznych. Inne możliwości zastosowań to obserwacja i pomiar zmian opóźnienia impulsów odbitych od ruchomych elementów konstrukcji mechanicznych lub ruchomych organów istot żywych. Zakres częstotliwości widma obserwowanego zmian może dochodzić do pojedynczych kiloherców przy rozdzielczości pomiaru zmian opóźnienia impulsu ultradźwiękowego rzędu $\pm 0,5$ ns (nanosekundy).

Dokładny pomiar opóźnienia między impulsami fali ultradźwiękowej, odbitej w płaskorównoległych elementach, lub przechodzących określonych odcinek w materiale, może służyć do wyznaczania prędkości fal w różnych ośrodkach, lub przy znajomości tej prędkości do wyznaczania wymiarów geometrycznych. Prędkość rozchodzenia się fal ultradźwiękowych zależy od wielu czynników, jak odkształcenie, naprężenie, koncentracja domieszek, anizotropia mechaniczna, oddziaływanie pól magnetycznych i elektrycznych oraz własności sprężystych i kształtu badanego elementu. Pomiar różnicy opóźnienia dwóch impulsów możliwy jest z dokładnością rzędu $\pm 0,2$ ns, natomiast rozdzielczość przy pomiarze wolnych zmian opóźnienia pojedynczych impulsów może być dokładniejsza i zawierać się w granicach $\pm 0,1$ ns. Znany jest układ automatycznego śledzenia zmian opóźnienia pojedynczego impulsu ultradźwiękowego, wykorzystujący sprzężenia zwrotne

między torami X i V konwertera próbkującego, śledzącego położenie punktu przejścia przez poziom zerowy napięcia wybranego zbrocza impulsu ultradźwiękowego bez detekcji, opisany przez J. Bamberg, H. Schmitta w publikacji pt.: "Reliable and simple method to measure relative changes of sound velocity automatically", Rev. Sci. Instrum., Vol 53, No 100 ct. 1982, pp. 1613-1614. Układ ten pozwala na wyznaczenie z dużą rozdzielczością, małych zmian opóźnienia wybranego impulsu ultradźwiękowego, zachodzących tylko w sposób bardzo wolny, a przy znajomości wartości opóźnienia impulsu w sposób przybliżony, na wyznaczenie jedynie względnych zmian opóźnienia impulsu.

Celem wynalazku było opracowanie urządzenia do automatycznego pomiaru szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych zapewniającego szybką reakcję układu śledzącego na szybkie zmiany wielkości mierzonej oraz dokładny pomiar opóźnienia pomiędzy wybranymi impulsami fali ultradźwiękowej.

Zgodnie z wynalazkiem urządzenie do automatycznego pomiaru szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych, zawiera układ wyposażony w nadajnik i odbiornik ultradźwiękowy połączone z przetwornikiem sprzężonym z badaną próbką oraz konwerter próbkujący ze sprzężeniem zwrotnym pomiędzy wyjściem Y i wejściem X za pomocą integratora i połączony z pomocniczym oscyloskopem. Wysokostabilny generator częstotliwości wzorcowej połączony jest z dzielnikiem częstotliwości i z nadajnikiem impulsów ultradźwiękowych. Ponadto zawiera programowany licznik połączony z dzielnikiem częstotliwości, generatorem wzorcowym, programatorem oraz wejściem synchronizującym konwertera próbkującego. Natomiast układy obserwacji i rejestracji dołączone są do wejścia X konwertera próbkującego poprzez filtr dolnoprzepustowy bądź środkowoprzepustowy.

Na wyjściu układu obserwacji i rejestracji znajduje się filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej mniejszej od częstotliwości powtarzania aparatu ultradźwiękowego bądź filtr środkowoprzepustowy, eliminujący składową stałą sygnału wyjściowego.

Przedmiot wynalazku został uwidoczniiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym pokazano schemat blokowy urządzenia do automatycznego pomiaru szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych.

Urządzenie zawiera układ pomiarowy wyposażony w wysokostabilny generator częstotliwości wzorcowej 1, dzielnik częstotliwości 2, nadajnik 3 i odbiornik ultradźwiękowy 6 połączone z przetwornikiem 4 sprzężonym akustycznie z badaną próbką 5, konwerter próbkujący 7, programowany licznik 8, programator 9, integrator 10, woltomierz 11, rejestrator Y-t 12, oscyloskop 13 lub minikomputer z przetwornikiem analogowo-cyfrowym 14, filtr dolnoprzepustowy 15 lub środkowoprzepustowy 16 oraz pomocniczy oscyloskop 17.

Wysokostabilny generator częstotliwości wzorcowej 1 dostarcza sygnał do dzielnika częstotliwości 2, który steruje wyzwalaniem nadajnika impulsów ultradźwiękowych 3 pobudzających przetwornik 4 sprzężony akustycznie z próbką 5. Impulsy odebrane przez przetwornik 4 wzmacniane są w odbiorniku 6 i podawane na wejście toru y konwertera próbkującego 7. Konwerter 7 wyzwalany jest impulsami z programowanego licznika 8 tworzącego regulowane skokowo opóźnienie względem impulsu synchronizującego nadajnik 3, będące całkowitą wielokrotnością okresu generatora częstotliwości wzorcowej 1. Do regulacji opóźnienia, czyli do programowania licznika 8 służy programator 9. Wyjście Y konwertera 7 połączone jest z jego wejściem X za pomocą integratora 10. Zmiana napięcia na wejściu X jest miarą zmian opóźnienia wybranego impulsu ultradźwiękowego i może być mierzona za pomocą woltomierza 11, rejestratora Y-t 12 obserwowana na oscyloskopie 13 lub rejestrowana w pamięci minikomputera zaopatrzonego w przetwornik analogowo-cyfrowy 14. Dla poprawy stosunku rejestrowanego sygnału do szumu układy obserwacji i rejestracji 11, 12 i 13 dołączone mogą być przez filtr dolnoprzepustowy 15 o częstotliwości granicznej mniejszej od częstotliwości powtarzania aparatu ultradźwiękowego, ale większy od częstotliwości maksymalnej widma zmian sygnału mierzonego.

Alternatywne zastosowanie w tym miejscu filtra środkowoprzepustowego 16 o tej samej częstotliwości granicznej i dolnej częstotliwości granicznej mniejszej od podstawowej częstotliwości widma mierzonego sygnału pozwala na obserwację stanu ustalonego wywołanego jedynie

przez cykliczne, szybkie zmiany wielkości mierzonej. Wyboru impulsu, jego śledzonego zbocza, amplitudy i opóźnienia dokonuje się na pomocniczym oscyloskopie 17 pracującym jako wskaźnik XY, którego wejście X i Y połączone są z odpowiednimi wyjściami X i Y konwertera próbkującego 7.

Układ automatycznego pomiaru zmian czasu przejścia impulsu ultradźwiękowego jest dyskretnym, impulsowym układem śledzącym z astatyzmem rzędu pierwszego. Oznacza to, że w petli sprzężenia układu znajduje się jeden integrator. Sygnałem wejściowym układu jest mierzony czas opóźnienia impulsu ultradźwiękowego, a sygnałem wyjściowym napięcia w petli sprzężenia zwrotnego, odwzorowujące do opóźnienie. W ogólnym przypadku, dla układu z astatyzmem rzędu pierwszego gdy mierzony czas opóźnienia jest stały $\tau_{op}(t) = \text{const.}$, granica błędu pomiaru zmierza do zera, czyli

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [\tau(t) - \tau_{op}(t)] = 0 \quad (1)$$

gdzie: $\tau_{op}(t)$ - mierzony opóźnienie impulsu ultradźwiękowego,

$\tau(t)$ - przeliczone na jednostkę czasu napięcia wyjściowe układu śledzonego.

Sygnał wejściowy $\tau_{op}(t)$ jest próbkowany z częstotliwością powtarzania aparatu ultradźwiękowego f_p , czyli co odstęp czasowy

$$T_p = 1/f_p \quad (2)$$

Przy zachowaniu warunku $\tau_{op}(t) = \text{const.}$, sygnał wyjściowy odpowiada sygnałowi wejściowemu po pewnej liczbie okresów powtarzania aparatu ultradźwiękowego. Czas, po którym następuje to wyrównanie i sposób w jaki do tego dochodzi zależą od wzmocnienia w petli sprzężenia zwrotnego układu śledzącego. Optymalizacja czasowa układu automatycznego śledzenia, to znaczy dobranie wzmocnienia w petli sprzężenia zwrotnego polega na tym, aby czas odpowiedzi układu był najkrótszy. Wzmocnienie w petli sprzężenia zwrotnego dla małych różnic $[\tau_{op}(t) - \tau_{op}(t)]$ wynosi

$$\beta = \frac{kz\omega_0 A_0}{f_p RC} \quad (3)$$

gdzie: $k \approx 1$ - wzmocnienie konwertera próbkującego,

$z [sV^{-1}]$ - napięciowy zakres szybkiej podstawy czasu konwertera próbkującego na jego wejściu X, $\omega_0 = 2\pi f_0$ - pulsacja głowicy ultradźwiękowej A_0 - amplituda impulsu ultradźwiękowego na wyjściu Y konwertera próbkującego, f_p - częstotliwość powtarzania aparatu ultradźwiękowego, $R [\Omega]$, $C [F]$ - elementy stałej czasowej układu integratora.

Układ automatycznego śledzenia jest stabilny gdy:

$$0 \leq \beta \leq 2 \quad (4)$$

oraz optymalny w czasie gdy:

$$\beta = 1 \quad (5)$$

Spełnienie warunku (5) oznacza, że dla $\tau_{op}(t) = \text{const}$ $\tau_{op}(t) = \tau_{op}(t)$ już w następnym momencie próbkowania czyli po czasie T_p . Jeżeli $\tau_{op}(t) \neq \text{const}$ i zmienia się w czasie, to $\tau_{op}(t)$ w kolejnych momentach próbkowania równe jest $\tau_{op}(t)$ zmierzonymu w poprzednich momentach próbkowania. Inaczej, sygnał wyjściowy w kolejnych momentach próbkowania jest opóźniony w stosunku do sygnału wejściowego o okres powtarzania aparatu ultradźwiękowego.

Aby sygnał wyjściowy $\tau'_{op}(t)$ pozostał nie zniekształcony w stosunku do sygnału wyjściowego $\tau_{op}(t)$, z twierdzenia o próbkowaniu wynika, że:

$$f_{\max} < f_p/2 \quad (6)$$

gdzie: f_{\max} - maksymalna częstotliwość poniżej której zawiera się większość energii widma sygnału wejściowego, f_p - częstotliwość powtarzania aparatu ultradźwiękowego.

Aby nie dochodziło do zniekształceń sygnału wyjściowego $\tau'_{op}(t)$ wywołanych nieliniowością układu śledzącego, szybkość zmian sygnału wejściowego $\tau_{op}(t)$ musi spełniać warunek:

$$[\tau_{op}(t)] \ll \frac{f_p}{\omega_0} \quad (7)$$

Wartość czasu opóźnienia startu szybkiej podstawy czasu konwertera próbkującego w stosunku do impulsu nadawczego nie jest ściśle określona i może się zmieniać w czasie, przy zastosowaniu typowych układów opóźniających w postaci multiwibratorów monostabilnych o regulowa-

nej płynnie szerokości impulsu. Poprawę stabilności opóźnienia impulsu synchronizacji konwertera próbkującego uzyskuje się poprzez zastosowanie cyfrowej, skokowej regulacji opóźnienia oraz synchronizacji nadajnika impulsów ultradźwiękowych z tego samego, wysokostabilnego źródła częstotliwości wzorcowej.

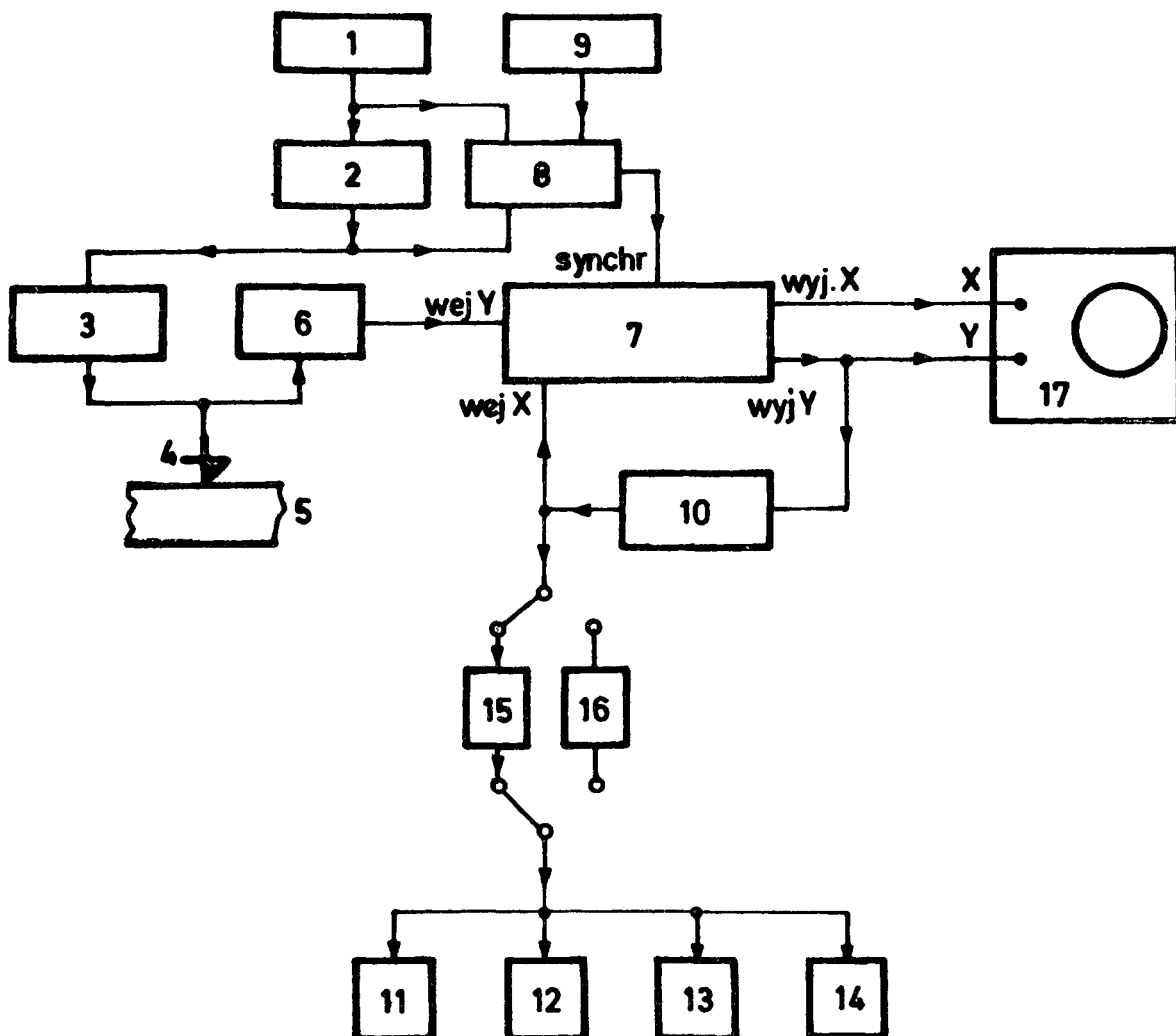
Sygnal z wysokostabilnego, wzorcowego generatora wielkiej częstotliwości np. 10 MHz dzielony jest w dzielnikach cyfrowych tak, aby otrzymać sygnał synchronizujący nadajnik impulsów ultradźwiękowych o typowej częstotliwości powtarzania np. 1 kHz. Układ programowanych liczników tworzy z sygnału wzorcowego impuls synchronizujący szybką podstawę czasu konwertera próbkującego, którego opóźnienie względem impulsu synchronizującego nadajnika może zmieniać się skokowo o okres generatora wzorcowego lub jego całkowitą wielokrotność - zależnie od ustawienia programowanych liczników. W ten sposób można uzyskać np. z wysokostabilnego generatora wzorcowego o częstotliwości 10 MHz impulsy synchronizujące nadajnik ultradźwiękowy o częstotliwości 1 kHz i opóźnione względem nich impulsy wynchronizujące konwerter próbkujący o czasie opóźnienia przełączanym skokowo co 1 μ s i co 10 μ s w zakresie od 0 μ s do 99 μ s. Znajomość dokładnej wartości różnicy opóźnień startu podstawy czasu konwertera próbkującego, przy pomiarach opóźnień dwóch ech impulsu ultradźwiękowego, pozwala na dokładny pomiar odstępu czasowego pomiędzy tymi echami, czyli na wyznaczenie bezwzględnej wartości czasu przejścia impulsu ultradźwiękowego w danym ośrodku. Sygnal z generatora wzorcowego, wprowadzany na wejście odbiornika ultradźwiękowego zamiast impulsów ultradźwiękowych odebranych przez głowice ultradźwiękowe daje wzorcowe znaczniki czasu, które służą do kontroli liniowości i stałości opóźnienia szybkiej podstawy czasu konwertera próbkującego.

Rozwiązanie może znaleźć zastosowanie w badaniach materiałów w procesie ich wytwarzania i eksploatacji, diagnostyki konstrukcji mechanicznych, obserwacji kinetyki zjawisk fizycznych i chemicznych oraz w diagnostyce medycznej.

Z a s t r z e ż e n i a p a t e n t o w e

1. Urządzenie do automatycznego pomiaru szybkich zmian czasu przejścia fal ultradźwiękowych, zawierające układ wyposażony w nadajnik i odbiornik ultradźwiękowy połączone z przetwornikiem sprzężonym z badaną próbką oraz konwerter próbkujący ze sprzężeniem zwrotnym pomiędzy wyjściem Y i wejściem X za pomocą integratora i połączony z pomocniczym oscyloskopem, z n a m i e n n y t y m, że zawiera wysokostabilny generator częstotliwości wzorcowej (1) połączony z dzielnikiem częstotliwości (2) i z nadajnikiem impulsów ultradźwiękowych (3), a ponadto programowany licznik (8) połączony jest z dzielnikiem (2), generatorem wzorcowym (1), programatorem (9) oraz wejściem (synchr.) konwertera próbkującego (7), natomiast układy obserwacji i rejestracji (11, 12, 13 i 14) dołączone są do wejścia (X) konwertera próbkującego (7) poprzez filtr dolnoprzepustowy (15) lub środkowoprzepustowy (16).

2. Urządzenie według zastrz. 1, z n a m i e n n e t y m, że zawiera na wejściu układu obserwacji i rejestracji filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej mniejszej od częstotliwości powtarzania aparatu ultradźwiękowego lub filtr środkowoprzepustowy eliminujący składową stałą sygnału wyjściowego.



154 711

Zakład Wydawnictw UP RP. Nakład 100 egz.
Cena 3000 zł