

STANOWISKO DO BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNYCH PRZETWORNIKÓW CIŚNIENIA

Dariusz KASPRZAK¹, Andrzej MROWIEC²

1. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu
tel.: 502826660 e-mail: darkas1@wp.pl
2. Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu
tel.: 606942976 e-mail: a.mrowiec@pwsz.kalisz.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono opracowane i wykonane przez autorów artykułu stanowisko do badania właściwości dynamicznych czujników i przetworników ciśnienia o zakresie pomiarowym ± 10 kPa. Na stanowisku tym przeprowadzono pomiary sygnału wyjściowego jako odpowiedzi na ciśnieniowe wymuszenie sinusoidalne. Pomiary te przeprowadzono dla trzech piezorezystancyjnych czujników ciśnienia. Podłączono je do elektronicznego układu przetwarzającego sygnał pomiarowy na standardowy sygnał prądowy o zakresie 4...20 mA. Przedstawiono weryfikację wykonanego stanowiska dla zmiennej częstotliwości wejściowego, pneumatycznego sygnału sinusoidalnego o częstotliwości w zakresie 3,5-100 Hz. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów charakterystyk wyjściowych $p/p_{max} = f(f)$.

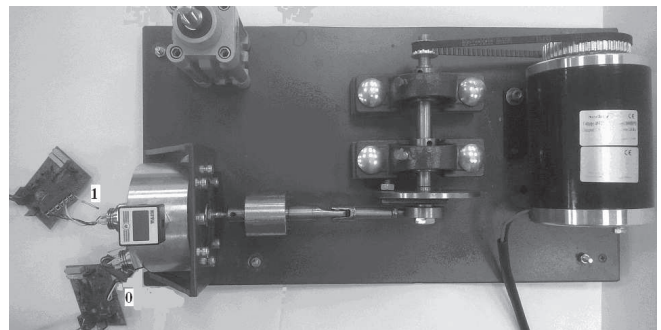
Słowa kluczowe: właściwości dynamiczne, przetworniki ciśnienia, przebiegi sinusoidalne.

1. WPROWADZENIE

Firmy produkujące przetworniki ciśnienia w materiałach katalogowych przedstawiają głównie właściwości przetworników w postaci charakterystyk statycznych [1]. Pomijane jest wyznaczanie charakterystyk dynamicznych co wynika z trudności w określaniu wielkości dynamicznych wzorców ciśnienia zmienianego w sposób harmoniczny lub skokowo [2]. Wraz z rozwojem nowoczesnych technik pomiarowych zauważa się zwiększone zainteresowanie problemami związanymi z badaniem właściwości dynamicznych takich elementów. Zwłaszcza interesująca wydaje się być ocena zwiększenia możliwości pomiarowych czujników do pomiaru ciśnień w zakresie częstotliwości do 100 Hz. W opracowaniach [3, 4] zaproponowano stanowiska, w których generowane są pneumatyczne wymuszenia sinusoidalne pozwalające na wyznaczanie charakterystyk amplitudowo – częstotliwościowych pneumatycznych czujników ciśnienia. W pracy [5] zaprezentowano układ generujący falę prostokątną wraz z odpowiedziami badanych przetworników ciśnienia na to wymuszenie. Autorzy niniejszego opracowania postanowili zrealizować pomysł budowy stanowiska wykorzystującego mechaniczny układ korbowy do wymuszania pneumatycznej fali sinusoidalnej. Układ ten pozwala na badanie właściwości dynamicznych przetworników ciśnienia przy takim wymuszeniu.

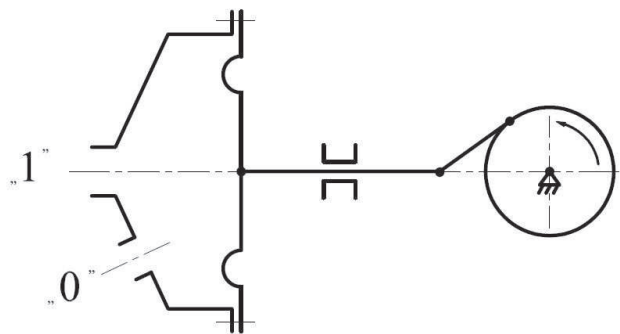
2. STANOWISKO BADAWCZE

Stanowisko do badania właściwości dynamicznych czujników i przetworników ciśnienia przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego

Na rysunku 2 przedstawiono schematycznie zasadę wymuszania pneumatycznego sygnału sinusoidalnego.

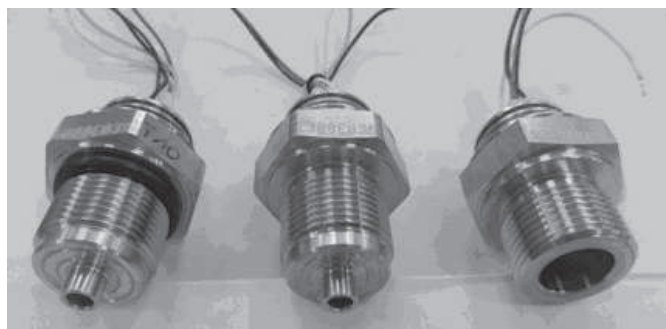


Rys. 2. Schemat działania stanowiska badawczego

Elementem wymuszającym zmianę ciśnienia pneumatycznego, w postaci fali sinusoidalnej w cylindrze pomiarowym jest układ korbowy napędzany silnikiem prądu stałego. Układ taki zapewnia zamianę ruchu obrotowego silnika na ruch posuwisto-zwrotny tłoka poprzez przekładnię z pasem zębatym. Prędkość obrotowa silnika zmienia się w sposób płynny stałym napięciem z regulowanego

zasilacza DF1760SL10A w zakresie 2-25 VDC, co pozwala na uzyskanie pneumatycznych przebiegów sinusoidalnych w zakresie ok. 4...99 Hz. Koniec korbowodu połączony jest z ułożyskowanym suwliwie trzpieniem zakończonym elastyczną membraną. Membrana ta spełnia rolę tłoka zamykającego cylinder, w którego dnie zamontowano dwa badane czujniki.

W efekcie uzyskano (pneumatyczne) wymuszenie sinusoidalne o stałej wartości amplitudy i częstotliwości zmieniającej się wraz z prędkością obrotową silnika. Badane czujniki do pomiarów statycznych wykorzystujące efekt piezorezystancyjny przedstawiono na rysunku 3, które wykorzystywane są w przetwornikach ciśnienia z wyjściem standardowym prądowym lub napięciowym.



Rys. 3. Badane czujniki (pierwszy po prawej z wejściem \varnothing 12 mm, a dwa pozostałe z wejściem \varnothing 4 mm)

Dla potrzeb eksperymentu wykonano dla badanych czujników dwa precyzyjne analogowe kondycjonery p/I , które dla wejściowego sygnału pneumatycznego z zakresu ± 10 kPa na wyjściu wytwarzają standardowy sygnał prądowy 4...20 mA. Zbudowane i „skalibrowane” analogowe kondycjonery sygnału p/I podłączono, poprzez 100 Ω rezystory (zmiana sygnału prądowego na napięciowy), do przetwornika wejściowego A/C wytwarzanego przez firmę National Instruments. Jest nim karta pomiarowa o rozdzielczości 14 bitów typu NI USB-6009 z oprogramowaniem do rejestracji i pomiarów. Komputer PC podłączono do modułu pomiarowego przetwornika A/C i wyposażono w sterowniki NI-DAQmx oraz NI-LabVIEW. Rejestrowano na nim wyniki pomiarów przy próbkowaniu z częstotliwością 10 kHz (czas próbkowania co 0,0001 s).

Na zaprojektowanym stanowisku przeprowadzono badania trzech czujników o następujących średnicach otworu wejściowego: \varnothing 4 mm oraz \varnothing 12 mm (rys. 3).

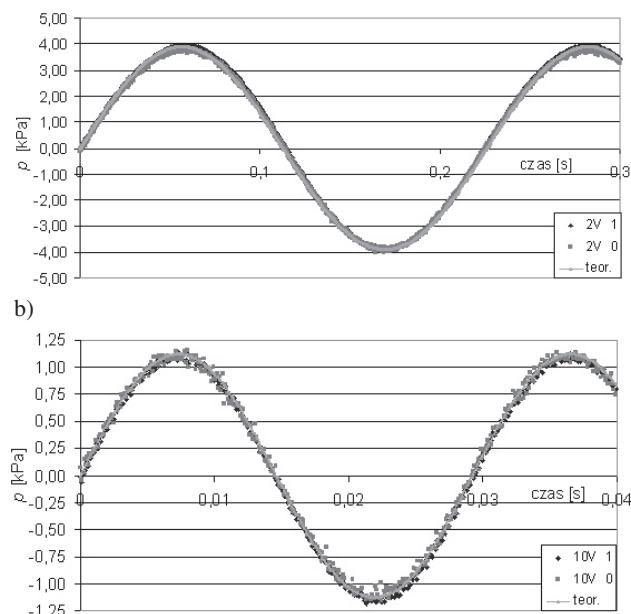
Czujnik oznaczony symbolem „0” został umieszczony poza osią cylindra (w prezentowanym przypadku – jeden z czujników o średnicy \varnothing 4 mm), natomiast czujnik oznaczony symbolem „1” w tym układzie będzie zawsze czujnikiem pomiarowym montowanym w osi cylindra (rys. 2).

3. WYNIKI BADAŃ CZUJNIKÓW

W pierwszym etapie przeprowadzono badanie dwóch czujników ciśnienia o identycznych otworach wlotowych $d = 4$ mm.

Dla napięcia sterującego obrotami silnika w zakresie od 2 do 25 VDC otrzymano odpowiedzi w postaci sygnałów sinusoidalnych o częstotliwościach z przedziału od ok. 4 do 99 Hz. Przykładowe wyniki zarejestrowanego sygnału wyjściowego dla czujników „0” oraz „1”, przy napięciu zasilania silnika wynoszącym 2 VDC i 10 VDC,

zaprezentowano odpowiednio na rysunku 4a i 4b. Na rysunkach tych dodatkowo naniesiono przebieg sinusoidalny wyznaczony teoretycznie z zależności matematycznej dla znanej z badań amplitudy i częstotliwości sygnału – oznaczony jako „teor”.



Rys. 4. Sygnały wyjściowe czujników d/d (4/4 mm):
a) dla napięcia zasilania silnika ok. 2 VDC,
b) dla napięcia zasilania silnika ok. 10 VDC

Z przedstawionych wykresów wynika, że uzyskano dużą zgodność wyznaczonych doświadczalnie przebiegów sinusoidalnych między badanymi czujnikami (d/d) w stosunku do przebiegu teoretycznego. W badanych przebiegach odpowiedzi czujników przy zasilaniu silnika napięciem sterującym ok. 2 VDC częstotliwość sygnału wyjściowego wynosi 4,44 Hz przy amplitudzie 4 kPa. Natomiast przy zasilaniu silnika napięciem sterującym ok. 10 VDC, częstotliwość sygnału wyjściowego wzrosła do 31,9 Hz przy spadku amplitudy do 1,15 kPa.

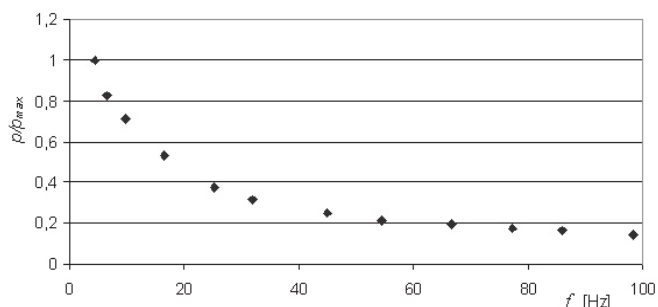
W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiaru amplitudy ciśnienia wyjściowego dla badanych czujników z otworami wlotowymi $d = 4$ mm i $D = 12$ mm.

Tabela 1. Wyniki pomiaru amplitudy ciśnienia

Dla $d = 4$ mm			Dla $D = 12$ mm		
f	p	p/p_{max}	f	p	p/p_{max}
[Hz]	[kPa]	[-]	[Hz]	[kPa]	[-]
4,44	4,00	1,00	3,70	4,00	1,00
6,53	3,30	0,83	5,56	3,72	0,93
9,72	2,84	0,71	7,90	3,12	0,78
16,50	2,12	0,53	11,26	2,54	0,64
25,15	1,50	0,38	14,78	2,16	0,54
31,90	1,15	0,31	24,64	1,45	0,36
45,00	1,00	0,25	35,79	1,10	0,29
54,40	0,85	0,21	45,33	0,90	0,23
66,67	0,78	0,20	54,80	0,80	0,20
77,14	0,70	0,18	70,00	0,75	0,19
85,94	0,65	0,16	80,00	0,70	0,18
98,20	0,57	0,14	85,83	0,64	0,16
			97,35	0,60	0,15

Dla 12 wybranych napięć sterujących prędkością obrotową silnika (z zakresu od 2 do 25 VDC) uzyskano

odpowiedzi w postaci sygnałów sinusoidalnych. Częstotliwość sygnałów zmieniała się w zakresie od ok. 4 do 99 Hz przy amplitudach: od 4 kPa (przy częstotliwości 4,44 Hz) do 0,57 kPa (przy częstotliwości 98,2 Hz). Na rysunku 5 dla badanego czujnika o średnicy kanału wlotowego $d = 4$ mm przedstawiono wyniki wartości względnej amplitudy ciśnienia wyjściowego w funkcji częstotliwości.

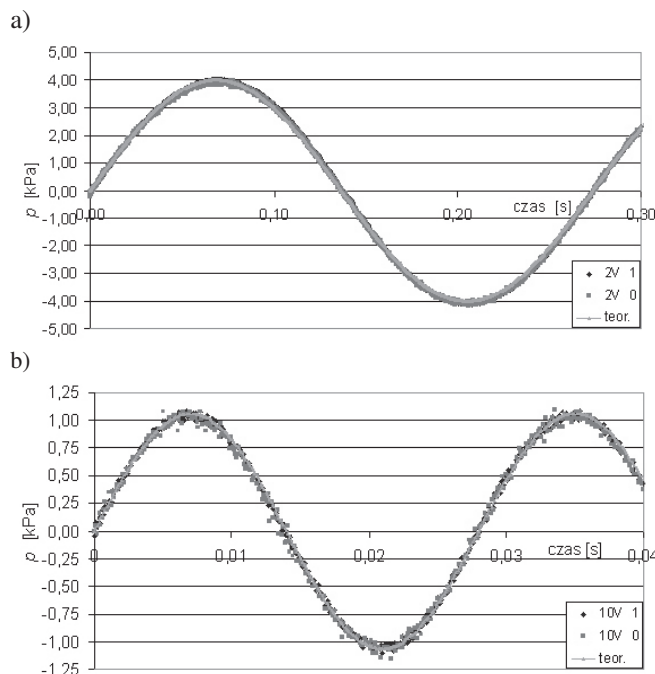


Rys. 5. Amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa czujnika ciśnienia dla otworu impulsowego $d = 4$ mm

W drugim etapie przeprowadzono badanie dwóch czujników o różnych średnicach otworów wlotowych (d/D) tzn. czujnik oznaczony jako „0” (z otworem o średnicy $d = 4$ mm) i czujnik oznaczony jako „1” (o średnicy otworu $D = 12$ mm).

Dla napięcia sterującego prędkością obrotową silnika z zakresu ok. 2 – 25 VDC otrzymano, jako odpowiedź na to wymuszenie, sygnały sinusoidalne o częstotliwości z zakresu ok. 3...98 Hz.

Przykładowe wyniki zarejestrowanego sygnału wyjściowego dla czujników „0” oraz „1”, przy napięciu zasilania silnika wynoszącym 2 VDC i 10 VDC, zaprezentowano odpowiednio na rysunku 6a i 6b.



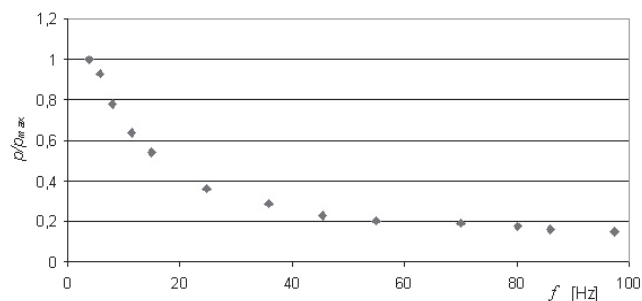
Rys. 6. Sygnały wyjściowe czujników d/D (4/12 mm):

- a) dla napięcia zasilania silnika ok. 2 VDC,
- b) dla napięcia zasilania silnika ok. 10 VDC

Na rysunkach tych dodatkowo naniesiono przebieg sinusoidalny wyznaczony teoretycznie (analogicznie jak w pierwszym etapie badań) – oznaczony jako „teor”.

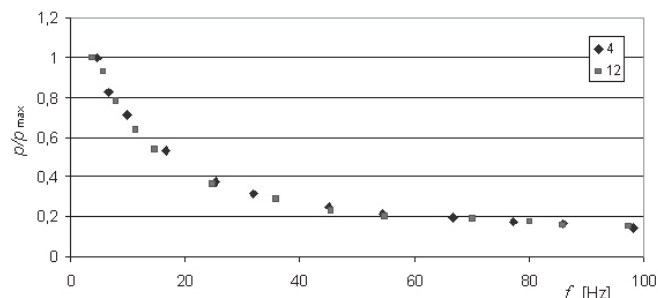
W tym przypadku uzyskano również odpowiedzi badanych czujników d/D na wymuszenie sinusoidalne o dużej zgodności wyników względem sinusoidy wyznaczonej teoretycznie. W badanych przebiegach odpowiedzi czujników, przy zasilaniu silnika wymuszającym napięciem ok. 2 VDC, częstotliwość sygnału wyjściowego wynosiła 3,7 Hz przy amplitudzie 4 kPa, a przy zasilaniu silnika napięciem wynoszącym ok. 10 VDC, wyjściowa częstotliwość sygnału wzrosła do 35,79 Hz, przy spadku amplitudy do 1,1 kPa.

Dla 13 wybranych napięć (2...25 VDC) sterujących prędkością obrotową silnika uzyskano odpowiedzi w postaci sygnałów sinusoidalnych o częstotliwościach z zakresu ok. 4...98 Hz, tzn. przy amplitudach: od 4 kPa (przy częstotliwości 3,7 Hz) do 0,60 kPa (przy częstotliwości 97,35 Hz). Wyniki pomiaru amplitudy ciśnienia dla badanego czujnika ($D = 12$ mm) przedstawiono w tabeli 1. Na rysunku 7 przedstawiono, dla badanego czujnika o średnicy kanału wlotowego $D = 12$ mm, wyniki pomiaru wartości względnej amplitudy ciśnienia wyjściowego w funkcji częstotliwości.



Rys. 7. Amplitudowa charakterystyka częstotliwościowa czujnika ciśnienia dla otworu impulsowego $D = 12$ mm

Na rysunku 8 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową badanych czujników $p/p_{max} = f(f)$ (względnej amplitudy ciśnienia w funkcji częstotliwości sygnału wejściowego) w formie dwóch krzywych (punktowych) nałożonych na siebie dla kanałów wlotowych o średnicach $d = 4$ mm i $D = 12$ mm doprowadzających ciśnienie pod membranę separującą.



Rys. 8. Charakterystyka częstotliwościowa czujników ciśnienia dla otworów wlotowych o średnicach $d = 4$ mm i $D = 12$ mm

Z porównania charakterystyk otrzymanych dla czujników o średnicy kanału wlotowego $d = 4$ mm i $D = 12$ mm wynika, że wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału wymuszającego, częstotliwość wyjściowa względem tego sygnału nie ulega zmianie. Maleje natomiast

amplituda (wartość ciśnienia) sygnału wyjściowego dla przebadanych czujników ciśnienia w badanym zakresie częstotliwości.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Należy przyjąć iż zbudowane przez autorów stanowisko umożliwia badania właściwości dynamicznych czujników ciśnienia. W wyniku analizy rezultatów badań dwóch czujników z membranami separującymi o różnych średnicach otworu wlotowego (\varnothing 4 mm i \varnothing 12 mm) dla małych ciśnień, w przebadanym przedziale częstotliwości od 3,5 do 100 Hz stwierdzono że:

1. Wraz ze wzrostem częstotliwości sygnału wymuszającego ulega zmniejszeniu wartość amplitudy sygnału wyjściowego,
2. W trakcie badania czujników maksymalne ciśnienie wyjściowe wynosiło ± 4 kPa dla średnic impulsowych kanału wlotowego \varnothing 4 mm i \varnothing 12 mm
3. Z przebiegu charakterystyk częstotliwościowych wynika, że badane czujniki mają charakter członów inercyjnych,

Autorzy pragną podkreślić, że przedstawione rezultaty mogą być traktowane jedynie jako wstępne wyniki badań. Interesującym wydaje się zbadanie takich czujników dla sygnałów wymuszających o częstotliwości poniżej 3 Hz. Wymaga to modyfikacji wykonanego mechanicznego

pulsatora sygnału sinusoidalnego. Ponadto planuje się rozszerzyć badania na większą grupę czujników ciśnienia (np. innych producentów, czy bez membrany separującej) oraz dla innych przebiegów sygnałów wymuszających.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Szczerba Z., Szczerba P., J.: Wybrane własności współczesnych przetworników ciśnienia, Przegląd Elektrotechniczny; rocznik 92, nr 1/2016 s. 192-195.
2. Boryczko A.: Podstawy pomiarów wielkości mechanicznych, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2010.
3. Rucki M.: Właściwości dynamiczne wysokociśnieniowych czujników pneumatycznych o zmniejszonych komorach pomiarowych, Rozprawa nr 459, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
4. Rucki M.: Zmienność stałej czasowej w czasie pomiaru czujnikiem pneumatycznym, Mechanik nr 3/2015, s. 228-237.
5. Chang H., Kao M. J., Tsung T. T., Wu J. L.: An Innovative Technology for Measuring The Dynamic Characteristics of Pressure Sensors, Mateals Science Forum, vol. 505-507 pp. 1057-1062, Trans Tech Publications, Switzerland 2006.

LABORATORY STAND FOR TESTING THE DYNAMIC PROPERTIES OF PRESSURE TRANSDUCERS

Many engineering fields employ dynamic pressure measurement. We need measurement equipment suited for dynamic measurements. The article presents an original realization of a laboratory stand for studying the dynamic properties of pressure sensors and gauges with the measuring range of ± 10 kPa. Using this laboratory stand measurements of the output signal in response to a sinusoidal input were conducted for three piezoresistive pressure sensors (connected to an original output system of a gauge with a standard electrical signal of 4...20 mA). Presented is a verification of the realized laboratory stand for a 3.5-100 Hz variation of the sinusoidal input signal frequency. The studied pressure sensors also produced output signals in the form of sinusoidal functions with varying amplitudes, which allows them to be presented as graphs of output characteristics $p/p_{max} = f(f)$. The reflections presented in the article may only be considered as initial test. The results will serve as a basis for conclusions regarding the correctness of the conducted tests and planning further studies (for example, for sensors without a separating diaphragm).

Keywords: dynamic properties, pressure gauges, sinusoidal characteristics.